



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio y simulación de la evacuación de un buque de la
Armada*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Cosme Vázquez Tomé

DIRECTORES: Roberto Bellas Rivera

Javier Martínez Torres

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio y simulación de la evacuación de un buque de la Armada

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_deVigo

RESUMEN

La evacuación de buques en situaciones de emergencia es un proceso de cuya ejecución depende la vida de todas las personas que se encuentren implicadas. Por eso y con el objetivo de asegurar la reducción en la pérdida de vidas humanas en la mar, con el paso de los años se han ido llevando a cabo estudios, desarrollando métodos y estableciendo normas para realizar este proceso de la manera más rápida y segura posible. Sin embargo, la profundidad que se ha alcanzado en estos estudios no es la misma para cualquier tipo de buque, en cuanto a los buques de guerra la cantidad de estudios realizados es mucho menor en comparación con los buques de pasajeros. Debido a esta carencia de estudios realizados y con la intención de intentar entender mejor el comportamiento de las personas durante el abandono de un buque de guerra, el presente Trabajo de Fin de Grado pretende analizar el proceso de evacuación del Buque de Aprovisionamiento para el Combate Cantabria.

Para ello se reproduce un modelo informático del buque en cuestión y posteriormente se simula la evacuación del mismo utilizando un software avanzado de simulación del movimiento de personas. Esto permitirá llevar a cabo un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos que ayudará a definir mejor las características que describen los patrones de comportamiento seguidos por el personal de la Armada Española durante un proceso de abandono de buque.

A medida que se vaya profundizando más y más en este tema, los conocimientos que se irán adquiriendo permitirán reducir el número de vidas humanas que se pierden en la mar.

PALABRAS CLAVE

Evacuación, Abandono de Buque, Pathfinder, Organización Marítima Internacional, Naval Ship Code

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar la ayuda prestada por mis dos tutores Roberto Bellas Rivera y Javier Martínez Torres quienes han hecho posible la realización de este trabajo.

También me gustaría mencionar el apoyo recibido durante estos últimos 5 años por parte de mi familia y amigos así como por parte de mis compañeros de promoción.

No quisiera olvidar al Alférez de Navío Gómez Rubio, quien ha respondido todas mis dudas de manera desinteresada.

A todos ellos, ¡muchas gracias!

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	7
1.1 Introducción	7
1.2 El problema de la evacuación en un buque de guerra	8
1.3 Objetivos del TFG.....	9
1.4 Metodología	9
1.5 Estructura de la memoria	10
2 Estado del Arte	11
2.1 El problema de la evacuación	11
2.2 Revisión de la normativa.....	13
2.2.1 Convenio Safety Of Life At Sea (SOLAS).....	13
2.2.2 Normativa Organización Marítima Internacional a través del código MSC	15
2.2.3 Naval Ship Code	21
2.2.4 Normativa de la Armada Español (D-CP-09).....	25
2.3 Software de simulación de evacuación	27
2.3.1 Fire Dynamic Simulator + Evac (FDS+Evac).....	27
2.3.2 Maritime EXODUS	27
2.3.3 STEPS.....	28
2.3.4 Simulex	28
2.3.5 Pathfinder.....	28
3 Desarrollo del TFG.....	29
3.1 Modelado	29
3.1.1 Modelado de la zona de habilitación del BAC Cantabria	29
3.1.2 Caracterización de los ocupantes.....	35
3.2 Simulación de evacuación.....	39
3.2.1 Casos de Estudio.....	40
3.2.2 Distribución del personal en los distintos casos	40
3.2.3 Plan de abandono de buque	40
3.2.4 Parámetros utilizados en la simulación.....	40
3.3 Análisis Estadístico de Datos	41
3.3.1 Análisis Descriptivo.....	41
3.3.2 Diagramas de caja y bigotes o box and whisker plots	42

3.3.3 Test de Distribución.....	43
4 Resultados	45
4.1 Simulación de Evacuación	45
4.1.1 Simulaciones con Parámetros Armada	45
4.1.2 Simulaciones con Parámetros OMI	57
4.2 Análisis Estadístico de Datos	57
4.2.1 Análisis Descriptivo.....	57
4.2.2 Diagramas de Caja y Bigotes o Box and Whiskers Plots	61
4.2.3 Test de Distribución.....	62
5 Conclusiones y líneas futuras	67
5.1 Conclusiones	67
5.2 Líneas futuras	68
6 Bibliografía.....	69
Anexo I: Disposición general de la zona de habilitación del BAC Cantabria.	71
Anexo II: Resultados Simulaciones.....	74
Anexo III: Cálculos Realizados.....	78
Anexo IV: Diagramas de caja y bigotes o Box and whisker plots	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Normas de eficacia exigidas por la OMI para el análisis simplificado de la evacuación [5].....	17
Figura 2-2 Normas de eficacia exigidas por la OMI para el análisis perfeccionado de la evacuación [5].....	19
Figura 2-3 Normas de eficacia requeridas por la OMI para el análisis simplificado de la evacuación [5].....	21
Figura 2-4 Estructura basada en objetivo que sigue el Naval Ship Code [12].....	22
Figura 3-1 Interfaz Pathfinder	30
Figura 3-2 Ajustes archivo CAD a importar	31
Figura 3-3 Opciones de importación	32
Figura 3-4 Archivo CAD sin modelar	32
Figura 3-5 Menú de capas del archivo importado	33
Figura 3-6 Cubierta con suelo extraído al completo	33
Figura 3-7 Alzado (vista desde proa) modelo Pathfinder.....	34
Figura 3-8 Planta modelo Pathfinder.....	34
Figura 3-9 Perfil estribor modelo Pathfinder	34
Figura 3-10 Perspectiva desde popa del modelo Pathfinder	35
Figura 3-11 Crear un ascensor.....	35
Figura 3-14 Modelos 3D utilizados.....	37
Figura 3-15 Cuadro de diálogo de selección de propiedades de un nuevo perfil.....	38
Figura 3-16 Selección velocidad en escala	38
Figura 3-17 Definir características de un comportamiento	39
Figura 3-18 Costado de babor del BAC Cantabria [21]	39
Figura 3-19 Vista desde popa del BAC Cantabria	40
Figura 3-20 Diagrama de caja y bigotes de los tiempos (en segundos) de evacuación de las tres cubiertas para el Caso 1 utilizando parámetros de velocidad la OMI.....	43
Figura 4-1 Colas en la Cubierta 2 al inicio	46
Figura 4-2 Colas en la Cubierta Principal al inicio	46
Figura 4-3 Colas en la Cubierta Principal al final	47
Figura 4-4 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al final	47
Figura 4-5 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta 2	47
Figura 4-6 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal.....	48
Figura 4-7 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento	48
Figura 4-8 Colas en la Cubierta 2 al inicio	49
Figura 4-9 Colas en la Cubierta Principal al inicio	49

Figura 4-10 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al inicio	49
Figura 4-11 Colas en la Cubierta Principal al final	50
Figura 4-12 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al final	50
Figura 4-13 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta 2	50
Figura 4-14 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal.....	51
Figura 4-15 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento	51
Figura 4-16 Colas en Cubierta 2 al inicio.....	52
Figura 4-17 Colas Cubierta Principal al inicio	52
Figura 4-18 Colas en la Cubierta Principal al final	53
Figura 4-19 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al final	53
Figura 4-20 Rutas seguida por los ocupantes en la Cubierta 2.....	54
Figura 4-21 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal.....	54
Figura 4-22 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento	54
Figura 4-23 Colas en la Cubierta 2 al inicio.....	55
Figura 4-24 Colas en la Cubierta Principal al inicio	55
Figura 4-25 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al inicio	56
Figura 4-26 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta 2	56
Figura 4-27 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal.....	56
Figura 4-28 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento	57
Figura 4-29 Histogramas caso 1 y caso 3	58
Figura 4-30 Histogramas caso 2 y caso 4	58
Figura 4-31 Histogramas caso 1 y caso 3	60
Figura 4-32 Histogramas caso 2 y caso 4.....	60
Figura 4-33 Comparativa mediante boxplot del Caso 1 con datos OMI [5] y datos Armada [7]	61
Figura 4-34 Comparativa noche/día para el caso 1 con parámetros Armada.....	62
Figura 4-35 Caso 2 Armada/Distribución Normal	63
Figura 4-36 Caso 3 Armada/Distribución Log-Normal	64
Figura 4-37 Caso 4 Armada/Distribución Log-Normal	64
Figura 4-38 Caso 2 OMI/Distribución Normal	65
Figura 4-39 Caso3 OMI/Distribución de Valor Extremo.....	65
Figura 4-40 Caso 4 OMI/Distribución Log-Normal	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Factores y variables en la evacuación	11
Tabla 2-2 Proceso de abandono de un buque de guerra [10]	13
Tabla 3-1 Velocidad de desplazamiento en terreno liso según la OMI [5]	36
Tabla 3-2 Velocidad de desplazamiento en escaleras según la OMI [5]	36
Tabla 3-3 Parámetros de velocidad utilizados en las simulaciones	41
Tabla 4-1 Datos Estadísticos de Casos Armada	59
Tabla 4-2 Datos Estadísticos de Casos OMI	60
Tabla 4-3 Relación de tiempos entre los dos grupos de simulaciones	61
Tabla 4-4 Presencia de outliers en las simulaciones realizadas	62
Tabla 4-5 Tabla de p-valores resultado del test de Anderson-Darling	63

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La evacuación de personas debido a una emergencia es un tema que se ha estudiado a fondo desde diferentes puntos de vista en edificios, grandes instalaciones, medios de transporte (aeronaves, buques de pasajeros). Sin embargo, la evacuación de buques de guerra no se ha estudiado de manera tan exhaustiva, o no se conocen los resultados debido a la confidencialidad inherente a la información relacionada con este tipo de barcos. En este Trabajo de Fin de Grado se realiza el estudio del proceso de evacuación de la dotación de un buque de guerra en caso de una emergencia que suponga el abandono del buque.

Por norma general los factores que impulsan el comienzo de un proceso legislador (con el fin de implementar normas que garanticen la seguridad en la mar) por parte de los gobiernos de las principales naciones marítimas, son los accidentes en la mar y la opinión pública (escandalizada por la inmensa pérdida de vidas en este medio).

En 1914, dos años después del hundimiento del “Titanic” en el que murieron más de 1500 personas, se celebra en Londres la primera Convención Internacional para la Seguridad de la Vida en la Mar. En esta los principales países costeros llegaron al acuerdo de estandarizar y regular ciertas medidas que hasta el momento no era obligatorio adoptar y cuyo fin consistía mejorar la seguridad en la mar.

La implantación de estas normas acordadas en 1914 se vio retrasada por el inicio de la Primera Guerra Mundial. La convención SOLAS se reunió posteriormente en 1929, 1948, 1960 y 1974. Las normas aprobadas en estas convenciones se revisan periódicamente y en caso necesario se aprueban nuevas enmiendas con el objetivo de posibilitar a la sociedad la navegación segura que ésta requiere [1].

Es en 1948 cuando en Génova se crea la Organización Marítima Internacional (IMO- International Maritime Organization). Esta es una agencia perteneciente a las Naciones Unidas y su objetivo es desarrollar y mantener las normas y reglas que rigen la navegación marítima. Esta organización no gubernamental se estructura en comités y subcomités de expertos. El comité más importante en lo referente a seguridad marítima es el MSC (Maritime Safety Committee) ya que a éste atañen todos los aspectos relacionados con la navegación por mar.

El hundimiento en 1994 de buque “Estonia” en el que murieron 852 personas fue el motivo principal de la aparición del Acuerdo de Estocolmo que desembocó en la aparición el 1 de julio de 2002 de una nueva normativa OMI para analizar el proceso de evacuación de los buques de pasaje; MSC/Circ 1033 Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships [2].

Con la aparición del Naval Ship Code, documento similar al convenio SOLAS pero aplicado al ámbito naval, la seguridad de las personas embarcadas en barcos de guerra adquiere una mayor importancia (aun asumiendo los riesgos propios de la profesión). El objetivo del NSC es trasladar las normas aplicadas en el ámbito de los buques civiles al de los buques de guerra. Para la consecución de este objetivo se deberán tener en cuenta las características de los últimos que influyan en la implementación de las normas de seguridad (adiestramiento de las dotaciones, procedimientos establecidos de evacuación, o ciertas características constructivas).

Utilizando datos acerca de la disposición general del BAC CANTABRIA en el modelo de simulación Pathfinder, este TFG pretende comprobar que las rutas de escape ya establecidas en dicho buque son las idóneas, además de comparar los resultados obtenidos en la simulación asumiendo como datos de entrada los que indica la norma vigente y estudios preliminares llevados a cabo en la Armada Española. Para ello y mediante el uso del software Pathfinder el presente trabajo llevará a cabo una estimación del tiempo de evacuación e identificará (en caso de que las haya) ineficiencias en el flujo de evacuados que aumenten la posibilidad de congestión y contraflujo acrecentando así el tiempo de abandono de buque. Finalmente se analizarán los resultados en busca de fallos.

1.2 El problema de la evacuación en un buque de guerra

El destino final de un buque de guerra es, como su propio nombre indica, combatir. Esto supone que dicho tipo de embarcaciones se encuentren expuestas a una serie de peligros adicionales si las comparamos con cualquier otro tipo de barco y que, en caso de ser necesario llevar a cabo su evacuación las condiciones en las que se produzca el abandono del mismo sean las peores posibles. Por ello es primordial que la evacuación se realice de la manera más rápida y segura.

Las tendencias principales en cuanto a la evolución de los buques de guerra son la reducción de las tripulaciones [3] [4] y la adaptación de los métodos de diseño y construcción utilizados para barcos civiles.

La tendencia a reducir las tripulaciones provoca que los trozos de reparación cuenten con menos personal, y por lo tanto solo puedan hacer frente a emergencias de una entidad media o pequeña. Esto acompañado de la exención por parte de los buques navales de cumplir el convenio SOLAS, aun cuando los peligros a los que este tipo de barcos se enfrenta, desemboca en que a día de hoy sea más probable el abandono de un barco de guerra que en el pasado cuando las dotaciones eran más numerosas.

Pese a esta exención de cumplir el convenio SOLAS, las marinas de ciertos países pertenecientes a la OTAN, están evolucionando para cumplir un convenio conocido como “SOLAS naval”. La Organización Marítima Internacional (OMI) es la responsable de establecer estándares y procedimientos con el objetivo de que los buques de guerra alcancen un nivel de seguridad igual al de los buques mercantes [5].

La metodología utilizada por la OMI para analizar el proceso de evacuación de un buque de pasajeros ha sido analizada por la Guardia Costera de los E.E.U.U. [6] la cual ha encontrado ciertos aspectos de posible mejora en cuanto a los datos utilizados por los modelos matemáticos y ciertas simplificaciones de modelización. A continuación se exponen los puntos más importantes de esta crítica a la metodología de la OMI:

- El efecto de ciertos factores como la edad de los pasajeros, las restricciones de movimiento y velocidad de los mismos, el movimiento del propio barco y más dificultades se tienen en cuenta sólo mediante la inclusión de un factor de seguridad.
- Se asume que los pasajeros se pueden mover libremente (y que elegirán siempre rutas primarias), sin puertas ni rutas de escape bloqueadas.

1.3 Objetivos del TFG

El **objetivo principal** de este trabajo es la simulación por ordenador del proceso de evacuación de la zona de habilitación del buque BAC Cantabria que permita comparar los resultados obtenidos utilizando datos correspondientes a las normas OMI y utilizando los datos experimentales obtenidos en estudios previos realizados en la Armada Española.

Para poder llevar a cabo el objetivo principal del presente Trabajo de Fin de Grado se han establecido una serie de objetivos secundarios:

- Reproducir la geometría en la que se desarrollará el proceso de evacuación a simular utilizando como base la disposición general de la zona de habilitación del BAC Cantabria.
- Elaborar la simulación atendiendo a los parámetros contenidos en las normas OMI y los obtenidos experimentalmente en estudios de la Armada Española y combinar estos parámetros con la información obtenida acerca de los protocolos de evacuación del buque en cuestión.
- Analizar los resultados obtenidos con el fin de comprender mejor las diferencias entre el comportamiento del personal que compone las dotaciones de buques de la Armada Española y el conjunto de personas (dotación y pasajeros) que navega a bordo de un buque de pasajeros.

1.4 Metodología

El sistema utilizado para evaluar la evacuación en la zona de habilitación del buque BAC CANTABRIA está definido por varios parámetros entre los que destacan la identificación de los puestos de reunión o estaciones de abandono y la identificación de las vías de evacuación.

La utilización del método de cálculo propuesto por la OMI [5] del tiempo de evacuación supone la aceptación de varias hipótesis de referencia idealizadas y se toman como punto de partida los siguientes supuestos:

- La dotación está dividida en individuos representados como personas únicas con unas aptitudes y tiempos de respuesta específicos.
- La dotación conoce y utiliza las vías de evacuación principal.
- En cuanto a la dotación se incluirán en la simulación dos tercios de la fracción de esta que se aloje en la zona de habilitación un total de 90 personas.
- Se incluirá en el cálculo de tiempo un margen de seguridad para tener en cuenta ciertos factores obviados en el proceso de cálculo.

La OMI establece que para el análisis de la evacuación deberán considerarse cuatro casos diferentes; caso diurno, caso nocturno, caso diurno con un 50% de las zonas verticales principales disponibles y caso nocturno con un 50% de las zonas verticales principales disponibles.

Los tiempos establecidos por la OMI para buques de pasajeros son excesivamente pesimistas si los trasladamos a buques de guerra puesto que en este tipo de barcos se llevan realizando ejercicios de abandono de buque durante años y esto confiere una experiencia superior a las dotaciones de barcos de guerra, en cuanto a evacuación se refiere, si las comparamos con los pasajeros de buques mercantes, por otra parte, en buques de guerra, el intervalo de edades está comprendido entre 20 y 50 años aproximadamente lo que supone una mayor homogeneidad del conjunto de personas que motiva una mayor agilidad del proceso evacuatorio. Es por eso que los tiempos establecidos por la OMI no se tendrán en cuenta en su totalidad a la hora de analizar el proceso de evacuación de un buque de guerra y que se incluirán consideraciones acerca de los tiempos que se establecen en el Naval Ship Code.

Finalmente se realizará una comparación de los resultados obtenidos de la simulación utilizando datos contenidos en normativas redactadas por organismos internacionales con los datos obtenidos de un modo experimental en estudios previos realizados en la Armada Española [7].

1.5 Estructura de la memoria

Tras exponer en el presente capítulo las razones que motivaron la realización de este TFG, los objetivos que se pretenden alcanzar con el mismo y la metodología empleada para ello, se realiza en el Capítulo Estado del Arte una revisión de la normativa actual existente sobre este tema y una descripción sobre la problemática de la evacuación en base a las cuales se ha desarrollado el presente trabajo.

En el Capítulo 3 se detalla el modo de llevar a cabo la creación de un modelo de evacuación Pathfinder del buque, realizando la simulación basándose en la disposición general del BAC Cantabria.

A continuación en el Capítulo 4 se analizarán los resultados obtenidos mediante las diferentes simulaciones realizadas y se compararán estos resultados entre sí.

Finalmente en el Capítulo 5 se pretende extraer conclusiones acerca de la eficacia del método actual de evacuación del buque así como proponer unas líneas a seguir por los futuros trabajos sobre este tema.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 El problema de la evacuación

En el momento de la evacuación de un buque, aparecen numerosas variables de las cuales depende el éxito o fracaso de la evacuación. La razón por la que estimar con exactitud el tiempo de evacuación es un trabajo de complejidad elevada es la relación de dependencia existente entre estas variables y en ocasiones la aleatoriedad que rige el comportamiento de las mismas.

Es correcto afirmar que en el concepto de evacuación intervienen cuatro factores principales (Tabla 2-1 Factores y variables en la evacuación), los cuales dependen de diferentes variables [8]:

Factores Principales	Personas	Entorno	Configuración de la estructura	Procedimiento de abandono
Variables principales	Número	Iluminación	Número de salidas	Sistema de alarma
	Sexo	Fuego	Capacidad de salidas	Claridad
	Edad	Humo	Distancia viaje	Credibilidad
	Peso	Gases nocivos	Ancho pasillos	Familiaridad
	Estatura			
	Adiestramiento			

Tabla 2-1 Factores y variables en la evacuación

Las características comunes a todos los procesos de evacuación cuyo resultado fue una tragedia, son las siguientes [9]:

- Obstrucciones/obstáculos en los pasillos.
- Gran número de ocupantes.
- Alta densidad de ocupación.
- Poco conocimiento de las vías de escape.
- Poco adiestramiento del personal y ocupantes.
- Liderazgo escaso.
- Magnificación de la importancia de la emergencia.

- Magnificación de la percepción de falta de tiempo.
- Uso excesivo de la salida principal.
- Congestión al otro lado de las salidas.

En el mismo libro [9] se comprueba mediante un estudio de 15 casos de evacuación en buques de pasajeros, que los factores que determinan el fracaso del abandono de un buque son los anteriormente descritos. Aun así en el caso de evacuación de buques es necesario añadir ciertos factores determinantes como son:

- Velocidad del hundimiento del buque.
- Condiciones meteorológicas.
- Comunicación con los medios de rescate.
- Tiempo hasta la llegada de los medios de rescate.
- Conocimientos y capacidad de supervivencia una vez abandonado el buque.
- Movimientos propios del buque como escora, balance y cabezada.

Queda reflejado que la estimación de un tiempo exacto de evacuación de un buque de pasajeros es una tarea ardua cuando menos. Si bien, el presente Trabajo de Fin de Grado trata acerca del análisis de la evacuación de un buque de guerra y este tipo de buques se enfrentan a un número mayor de peligros lo que desemboca en un aumento de las posibilidades de que una emergencia ocurra.

El rango de situaciones posibles en las que se puede encontrar un buque de guerra es mucho más amplio que en el caso de un buque de pasajeros. Independientemente de la situación operativa en la que se encuentre un buque de guerra, la dotación que lo conforma estará distribuida conforme al libro de organización del buque. En este libro se detallan los puestos a cubrir y la persona o las personas que deben cubrirlos en los distintos grados de alistamiento en los que se puede hallar dicho buque. Estos diferentes grados de alistamiento facilitan y en muchos casos posibilitan la anticipación a una posible amenaza. Además, cuando una incidencia tiene lugar en un buque de guerra, ésta es evaluada por un equipo de Control de Daños y se puede concretar la magnitud de esta de manera rápida y precisa.

La distribución de la dotación y la condición del buque tras la incidencia deberían ser conocidas con mayor exactitud en los buques de guerra que en un buque de pasajeros, y eso se traduce en la posibilidad de solventar la incidencia sin tener que abandonar el buque en un mayor número de casos.

Si finalmente el Comandante decide que la evacuación del buque es inevitable y ordena que se lleve a cabo se deberá destruir previamente toda la documentación sensible que se encuentre a bordo así como los equipos (dependiendo de las aguas en las que se encuentre navegando dicho buque se procederá a una destrucción total o solo una inutilización de los equipos de los que dispone el buque). Este proceso lo realizan miembros de la dotación que han sido previamente instruidos en la manera de proceder y tiene lugar de manera simultánea al tránsito de los demás miembros de la dotación a las estaciones de abandono.

Una vez ordenada la evacuación el proceso es el siguiente:

- Simultáneamente, algunos miembros de la dotación proceden a la destrucción de emergencia de equipos y documentos (D) mientras que el resto se dirige a las estaciones de abandono (T).
- Una vez en las estaciones de abandono, la dotación inicia el proceso de embarque en las balsas salvavidas. Esto conlleva, el lanzamiento de las balsas salvavidas al agua (L) y el posterior embarque en el agua de la dotación (E).
- Los naufragos son rescatados (R).

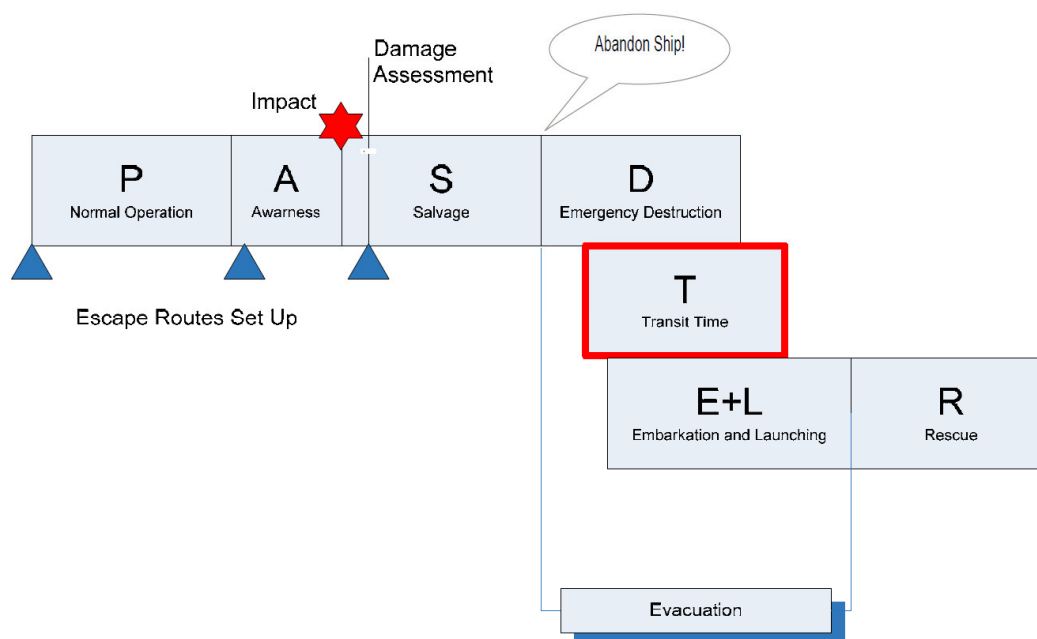


Tabla 2-2 Proceso de abandono de un buque de guerra [10]

2.2 Revisión de la normativa

2.2.1 Convenio Safety Of Life At Sea (SOLAS)

A raíz del catastrófico hundimiento del “Titanic” en el que fallecieron más de 1500 personas el 14 de abril del año 1912 se convoca en 1913 en Londres la primera Convención sobre la seguridad de la vida en la mar la cual posteriormente pasaría a convertirse en el primer “Convenio Internacional para la protección de la vida humana en la mar”. En este convenio que tuvo lugar en el año 1914 se proponen una serie de medidas con el objetivo de evitar acontecimientos como los que provocaron el hundimiento del “Titanic”.

Este convenio, que pasó a convertirse en el más importante acerca de la seguridad de la navegación marítima es ahora mundialmente conocido como SOLAS, por sus siglas en inglés, Safety Of Life At Sea, y ha sido convocado posteriormente a 194 en 4 ocasiones: 1929, 1948, 1960 y 1974 [1].

2.2.1.1 Convenio de 1914

El transporte de pasajeros por mar estaba experimentando un crecimiento significativo en esta época, esto sumado a la poca seguridad de la navegación por mar en ese momento resultó en un aumento de la pérdida de vidas humanas en la mar (llegando a alcanzarse medias anuales desorbitadas de entre 700 y 800 víctimas sólo en buques británicos).

En este convenio se aprobó un grupo de medidas relacionadas con la seguridad de la navegación, la construcción de buques más apropiados para resistir incidencias, la utilización de dispositivos de salvamento y el uso de mecanismos de extinción de incendios. Fue en este convenio donde, por primera vez, se decretó la obligatoriedad del uso de equipos radiotelegráficos en buques que transportasen más de 50 pasajeros. Para intentar evitar colisiones con el hielo del tipo de la del “Titanic”, se estableció un servicio de vigilancia de hielo en la zona del Atlántico Norte.

2.2.1.2 Convenio de 1929

En este convenio se mantuvo el espíritu del anterior aprobándose un nuevo grupo de reglas relacionadas con las mismas cuestiones que en 1914. Además se introdujo un anexo que trataba la reglamentación internacional para la prevención de abordajes.

2.2.1.3 Convenio de 1948

El paso del tiempo y los avances científico-tecnológicos provocaron que el convenio anterior quedase desfasado y fuese necesaria la aprobación de un nuevo convenio actualizado a la época. Este convenio constaba de mejoras en cuestiones como estabilidad, protección estructural contra incendios por medio de mamparos resistentes al fuego, troncos para proteger las escaleras principales y compartimentado estanco en buques de pasaje. Se llevó a cabo en este convenio una revisión del Reglamento de Abordajes y las cuestiones relacionadas con la seguridad de la navegación, por otra parte se renovaron los servicios meteorológicos y el servicio de vigilancia de hielos establecido en el convenio de 1914.

2.2.1.4 Convenio de 1960

El motivo de este convenio fue similar al anterior puesto que los rápidos avances tecnológicos habían puesto de manifiesto la necesidad de la renovación de la reglamentación vigente. Esta vez, se extendió la aplicabilidad de las normas a los buques de carga (no solo a los buques de pasajeros), se hizo hincapié en las normas relacionadas con la fuente de energía eléctrica y el alumbrado de emergencia además de en la prevención de incendios. Se menciona la posibilidad de que las balsas salvavidas, que tras años de avances habían sido mejoradas de manera sustancial, sustituyeran parcialmente a los botes salvavidas.

Uno de los nuevos objetivos que se plantearon en esta ocasión fue posibilitar la actualización del convenio SOLAS mediante enmiendas relativas a aspectos específicos. Las enmiendas más importantes fueron [1]:

- En el año 1966, enmiendas al capítulo II relacionado con las medidas especiales de seguridad contra-incendios en buques de pasaje.
- En el año 1969 se aprobaron varias enmiendas relacionadas con los equipos de bomberos y las especificaciones sobre roscos y chalecos salvavidas.
- En el año 1973 se llevó a cabo la aprobación de ciertas reglas relativas a los dispositivos de salvamento.

2.2.1.5 Convenio de 1974

Último de los cinco convenios SOLAS, está actualmente en vigor y gracias al procedimiento de enmienda ideado en el convenio de 1960 y presente en el artículo VIII del convenio actual, es poco probable que se realice otro nuevo convenio en vez de llevar a cabo la enmienda pertinente e ir actualizando así este texto a lo largo de los años.

El procedimiento de enmienda descrito en el artículo VIII determina que se considerarán aceptadas las enmiendas a los capítulos del II al VIII tras dos años si estas no han sido rechazadas dentro de un plazo concreto, por una tercera parte de los gobiernos contratantes cuyas flotas representen el 50% o más del tonelaje bruto de la flota mundial.

Este convenio consta de una serie de artículos acerca de obligaciones generales, el procedimiento de enmienda y el anexo estructurado en 12 capítulos.

- Capítulo I. Disposiciones generales.
- Capítulo II-1. Construcción, estructura, compartimento y estabilidad, instalaciones de máquinas e instalaciones eléctricas.
- Capítulo II-2. Construcción, prevención, detección y extinción de incendios.
- Capítulo III. Dispositivos y medios de salvamento.
- Capítulo IV. Radiocomunicaciones.
- Capítulo V. Seguridad de la navegación.
- Capítulo VI. Transporte de cargas.
- Capítulo VII. El transporte de mercancías peligrosas.

- Capítulo VIII. Los buques nucleares.
- Capítulo IX. Gestión de la seguridad operacional de los buques.
- Capítulo X. Medidas de seguridad aplicables a las naves de gran velocidad.
- Capítulo XI-1. Medidas especiales para incrementar la seguridad marítima.
- Capítulo XI-2. Medidas especiales para incrementar la protección marítima.
- Capítulo XII. Medidas de seguridad adicionales aplicables a los graneleros.

2.2.2 Normativa Organización Marítima Internacional a través del código MSC

La circular 1033 del Código MSC “Directrices provisionales para el análisis de la evacuación de los buques de pasaje nuevos y existentes” es la normativa más importante sobre evacuación en buques de pasaje. Si bien ha sido ya actualizada con la circular 1238 del Código MSC, se procederá primero a una revisión de la circular 1033 y posteriormente se especificarán los cambios realizados en dicha actualización [5].

La circular 1033 consta de una serie de directrices donde se describen dos métodos diferentes para realizar el análisis; análisis simplificado y análisis perfeccionado de la evacuación. Independientemente de los dos métodos propuestos en la circular, en las directrices contenidas en ella se distinguen unos objetivos claros. Haciendo un resumen de estos se pueden destacar los más importantes; determinar la metodología para realizar un análisis de la evacuación, determinar y eliminar las posibles congestiones que puedan producirse en un proceso de abandono de buque y poder demostrar la flexibilidad de los medios de evacuación presentes en un buque.

A lo largo de la circular y dependiendo del método se utilizan una serie de términos, para entender mejor las ideas contenidas en esta normativa se hace necesario definirlos.

En cuanto al análisis simplificado de la evacuación:

- Carga de pasajeros: personas que son tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos relativos a los medios de evacuación.
- Tiempo de reacción (A): tiempo que tardan los pasajeros en tomar conciencia de la situación y reaccionar, transcurre desde que suena la señal de alarma hasta que se empiezan a dirigir al punto de reunión.
- Tiempo de desplazamiento (T): tiempo transcurrido durante el desplazamiento de los pasajeros desde el punto de partida (cuando suena la alarma) hasta los puestos de reunión y de allí a los puestos de embarque.
- Tiempo de embarque (E) y tiempo de puesta a flote (L): sumados constituyen el tiempo que dura el proceso de desembarque de todas las personas presentes a bordo.

En el análisis perfeccionado se requieren otras definiciones adicionales.

- Tiempos de respuesta: tiempo total que se dedica a las actividades de movimiento desde que suena la alarma hasta la evacuación.
- Tiempos de reunión de cada persona: suma del tiempo de respuesta de cada persona y del tiempo de desplazamiento de cada persona común para ambos tipos de análisis.
- Tiempo total de reunión (t_A): tiempo máximo de reunión de cada persona.

2.2.2.1 Método de evaluación para el análisis simplificado de la evacuación

Para poder llevar a cabo este método la normativa dicta que se deberán seguir una serie de supuestos relacionados con el comportamiento de los seres humanos y con las condiciones del buque en el momento del abandono del mismo.

Se supondrá que en el momento en que se da la orden de evacuación, todos los pasajeros empiezan la evacuación en el mismo instante de tiempo y no verán su camino obstaculizado por las demás

personas implicadas en el proceso. Una manera de asegurar esto último es considerar que el flujo de personas sólo se produce en una dirección (siguiendo la vía principal de evacuación, tal y como dicta la regla II-2/13 del Convenio SOLAS [1]) y que no hay adelantamientos (pues la velocidad inicial de desplazamiento de los ocupantes del buque dependerá de la densidad de personas).

En lo referente al buque se afirmará que todos los medios de evacuación están disponibles (a menos que se indique lo contrario) y en cuanto a la carga de pasajeros y su distribución inicial se admitirá la afirmación de que serán las que se indican en el capítulo 13 del Código SSCI [11].

Para tener en cuenta que estas suposiciones son una aproximación al complejo comportamiento real del ser humano durante la evacuación de un buque, la normativa incluye dos factores que se deberán añadir al tiempo calculado tras el análisis de la evacuación. Estos son:

- Un factor de contraflujo, con el fin de tener en cuenta el flujo de personas en sentido contrario.
- Un factor de seguridad con el fin de tener en cuenta los efectos de movimiento del buque, la edad y condición física de los pasajeros, la flexibilidad de la disposición inicial de estos, etc.

La evacuación de un buque puede tener que producirse por un sinnúmero de razones distintas, la circular pretende a través de cuatro casos diferentes proporcionar una idea general del comportamiento de un buque y su dotación ante una situación de abandono. Los cuatro casos que establece la circular son:

- Caso 1: evacuación realizada durante la noche.
- Caso 2: evacuación realizada durante el día.
- Caso 3 y 4: son casos de evacuación secundarios en los que se volverá a investigar la zona vertical principal que demande mayor tiempo de desplazamiento. Los parámetros de población utilizados coincidirán en los casos 1 y 3 así como en los casos 2 y 4.

En el presente Trabajo de Fin de Grado se llevará a cabo la simulación de evacuación de la zona de habitación del BAC Cantabria distinguiéndose en esta simulación los 4 casos siguientes:

- Caso 1: evacuación realizada durante la noche navegando el buque en régimen de tres vigilancias.
- Caso 2: evacuación realizada durante el día siguiendo el mismo régimen de navegación.
- Caso 3: evacuación realizada durante la noche con la zona vertical de popa /babor deshabilitada.
- Caso 4: evacuación realizada durante el día con la zona vertical de popa/estribor deshabilitada.

La circular estipula que para llevar a cabo el cálculo del tiempo de evacuación habrá que seguir unas directrices.

Se deberá suponer que el tiempo de reacción (A) tomará el valor de 10 minutos si la evacuación es por la noche y de 5 minutos si la evacuación se realiza durante el día. Sin embargo, teniendo en cuenta que en el caso de estudio todas las personas incluidas en el proceso de evacuación son dotación adiestrada de un buque de guerra, en el presente TFG se ha utilizado un tiempo de reacción (A) cuyo valor es de 2,5 minutos por el día (casos 2 y 4) y 5 minutos por la noche (casos 1 y 3).

En cuanto al tiempo de embarque y puesta a flote (E+L) el Naval Ship Code (apartado 2.2.3) estipula que para un buque de guerra no deberá superar los 5 minutos [12].

Deberán cumplirse unas normas de eficacia estipuladas que son las siguientes:

$$\bullet \quad A + T + \frac{2}{3(E+L)} \leq n \quad 1)$$

$$\bullet \quad E + L \leq 30' \quad 2)$$

- Para la ecuación 1, $n=60'$ para buques RO-PAX y $n=80'$ minutos para buques con más de tres zonas verticales principales. La ecuación 2 se calculará partiendo de resultados de pruebas a escala real en buques, de datos proporcionados por fabricantes y en caso de no ser posible el uso de ninguno de los dos métodos anteriores se supondrá igual a 30 minutos

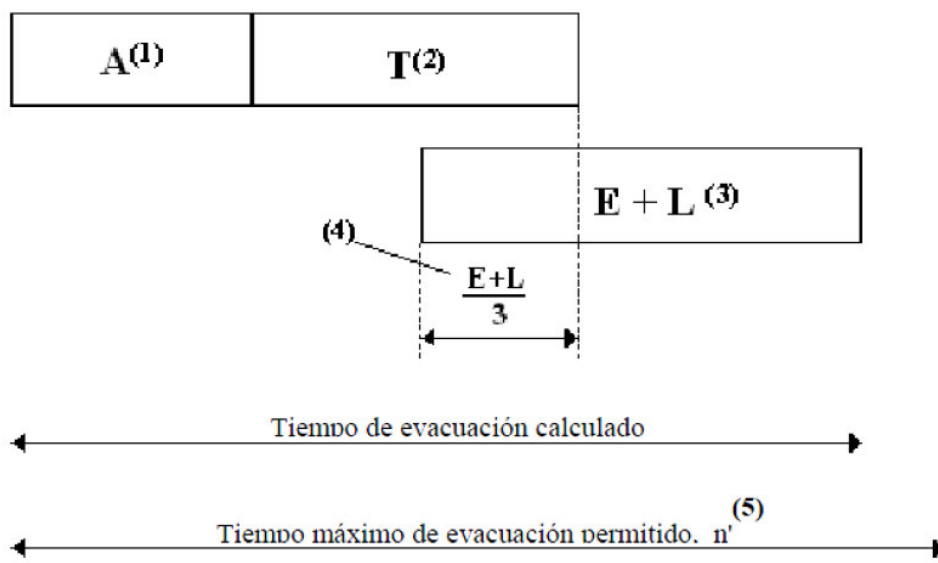


Figura 2-1 Normas de eficacia exigidas por la OMI para el análisis simplificado de la evacuación [5]

Se podrá afirmar que existe congestión si la densidad inicial es igual o superior a 3,5 personas/m² o si existen colas considerables con acumulaciones de más de 1,4 personas/segundo entre la entrada y la salida a partir de un punto [5].

Para corregir la congestión deberán aplicarse ciertas medidas correctivas. Estas medidas dependerán del tipo de buque; en los buques nuevos si el tiempo total de evacuación es superior al que determina la ecuación 1 se deberán aplicar medidas de corrección en la fase de proyecto para reducir este tiempo y cumplir así lo determinado por dicha fórmula, en el caso de buques ya existentes que también excedan el tiempo total de evacuación determinado por la ecuación 1 se deberán revisar los procedimientos de evacuación para adoptar las medidas necesarias y reducir así el tiempo de evacuación total.

Para que sea considerado válido, todo análisis deberá contener la siguiente documentación:

- Suposiciones básicas del análisis.
- Esquema de la disposición de las zonas sometidas a análisis.
- Distribución inicial de las personas respecto de cada hipótesis considerada
- Método de análisis utilizado si es distinto al de las directrices provisionales de la circular
- Detalles secundarios de los cálculos
- El tiempo total de la evacuación
- Determinación de los puntos de congestión

2.2.2.2 Método de evaluación para el análisis perfeccionado de la evacuación

Este análisis consiste en la simulación por ordenador de la interacción de los ocupantes del buque y la disposición general del mismo, en la que cada ocupante está representado por una persona que conoce dicha disposición. En ese método de evaluación, igual que en el anterior se deberán realizar una serie de supuestos que permitan llevar a cabo la simulación.

- En cuanto a los ocupantes, a estos se les representará por personas únicas que, como tal, poseen unas aptitudes específicas y unas características específicas. Se considerará que su distribución inicial y la cantidad corresponden con lo indicado en el capítulo 13 del código SSCI. [11] Se asume que seguirán la vía de evacuación principal, cumpliendo así la regla II-2/13 del Convenio SOLAS [1].
- Los medios de evacuación se considerarán disponibles en su totalidad a menos que se indique lo contrario.

- Dado que estas suposiciones son una manera de aproximarse al comportamiento de los seres humanos durante el proceso de evacuación se incluye un margen de seguridad con el objetivo de tener en cuenta los posibles aspectos que no se han tenido en cuenta (como el impacto del movimiento del buque en los pasajeros, la presencia de humo, la existencia de grupos familiares) y el carácter limitado de esta aproximación.

Además se hacen unas hipótesis previas según el caso a estudiar, deberán ser un mínimo de cuatro hipótesis.

En el Caso 1 (evacuación principal durante la noche) las hipótesis son las siguientes:

- Pasajeros en los camarotes con todas las literas ocupadas, 2/3 de los tripulantes en sus camarotes, en cuanto al 1/3 restante de la dotación:
 - El 50% estará inicialmente en los espacios de servicio y se comportará como pasajeros con la velocidad de desplazamiento y el tiempo de reacción correspondiente.
 - El 25% estará en sus puestos de emergencia sin otra función explícita a efectos del modelo.
 - El 25% estará inicialmente en los puestos de reunión y se dirigirá a los camarotes de los pasajeros en contraflujo respecto de los evacuados; una vez que llegue a los camarotes volverá a los puestos de reunión.

En el caso 2 (evacuación principal durante el día) las hipótesis son las siguientes:

- Los pasajeros en los espacios públicos ocupan $\frac{3}{4}$ de la capacidad máxima. En cuanto a la dotación:
 - El 25% de los tripulantes estará en sus puestos de emergencia, sin otra función explícita a efectos del modelo.
 - El 25% estará inicialmente en los puestos de reunión y se dirigirá a los camarotes de los pasajeros en contraflujo respecto de los evacuados, una vez que llegue a los camarotes volverá a los puestos de reunión.
 - El 50% restante se comportará como pasajeros con la velocidad de desplazamiento y el tiempo de reacción correspondiente y se distribuirá inicialmente del siguiente modo: 1/3 en espacios públicos, 1/3 en espacios de servicio y 1/3 en espacios de alojamiento.

En cuanto a los casos 3 y 4 (casos de evacuación secundarios) en los que solo se volverá a investigar la zona vertical principal que necesite el mayor tiempo de desplazamiento, se considerarán las siguientes alternativas:

- Alternativa 1: se considera que para el análisis sólo se dispone del 50% de la capacidad de las escaleras previamente utilizadas en la zona vertical principal identificada.
- Alternativa 2: el 50% de las personas en una de las zonas verticales principales vecinas a la zona vertical principal identificada está obligado a desplazarse hacia la zona y dirigirse, a través de ella, al puesto de reunión.

En el caso de estudio y teniendo en cuenta que no existen pasajeros a bordo de un buque de guerra, se han seguido las siguientes hipótesis:

- Caso 1: el 100% del personal incluido en la simulación (que son 2/3 de la dotación del buque sin tener en cuenta oficiales) se encontrará en sus respectivos camarotes.
- Caso 2: el 60% del personal incluido en la simulación (que son 2/3 de la dotación del buque sin tener en cuenta oficiales) se encuentra en sus respectivos camarotes. El 40% restante estará distribuido por las distintas estancias de la zona de habilitación.
- Caso 3: se seguirá la alternativa 1, siendo la zona vertical principal que se encuentra deshabilitada la de popa/babor.

- Caso 4: se seguirá la alternativa 1, siendo la zona vertical principal deshabilitada la de popa/estribor.

En cuanto al tiempo de evacuación, la normativa estipula que deberán cumplirse las siguientes normas de eficacia:

- $T + \frac{2}{3}(E + L) \leq n \quad 3)$

- $E + L \leq 30' \quad 4)$

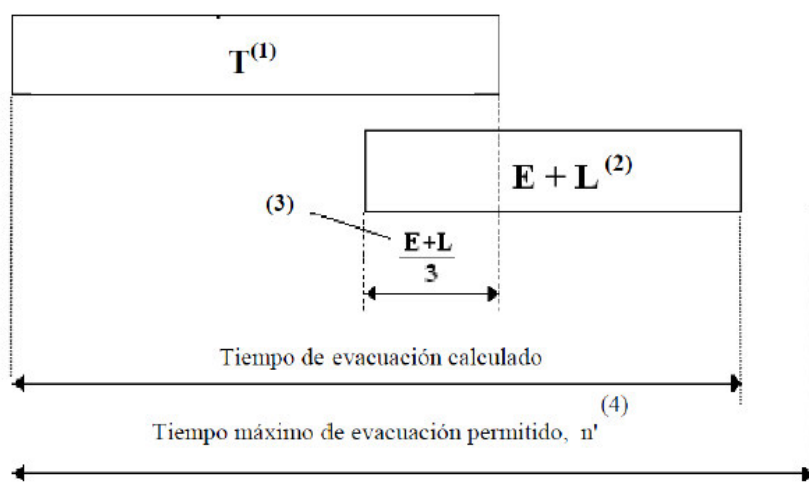


Figura 2-2 Normas de eficacia exigidas por la OMI para el análisis perfeccionado de la evacuación [5].

Para la ecuación 3 el valor de $n=60'$ para buques de pasaje de transbordo rodado y en caso de que los buques de pasaje no sean de transbordo rodado, $n=60'$ si no tienen más de 3 zonas verticales, y $n=80'$ si el buque tiene más de tres zonas verticales.

Para calcular $E+L$, igual que en el análisis simplificado, habrá que basarse en los resultados de pruebas a escala real en buques y sistemas de evacuación similares, en los datos proporcionados por los fabricantes y en el supuesto que estos datos no estén disponibles, se supondrá $E+L=30'$. Para el caso que nos ocupa y debido a la naturaleza de la dotación de un buque de guerra (buena forma física, buen nivel de adiestramiento, disciplina) se seguirá lo estipulado en el Naval Ship Code [12] y se considerará que $E+L$ es igual a 5 minutos.

Afirmaremos que existe congestión si la densidad en las zonas excede de 4 personas/m² durante un tiempo considerable además si se determina que en una región la congestión persiste durante más del 10% del tiempo total de reunión calculado se dirá que esta congestión es importante.

Deberán aplicarse medidas correctivas con el objetivo de eliminar la congestión que dependen del tipo de barco.

En buques nuevos si no se alcanza la norma de eficacia determinada por la ecuación 3 se deberán aplicar medidas correctivas en la fase de proyecto modificando los medios que afectan al sistema de evacuación. En buques ya existentes en los que tampoco se cumpla lo determinado por dicha ecuación se deberán revisar los procedimientos de evacuación de abordaje para corregirlos y reducir así la congestión que se produzca en los lugares señalados por el análisis.

El tiempo de desplazamiento (T) tanto en el modelo como en la realidad se tratará de una variable aleatoria, debido a que el procedimiento de evacuación es de carácter probabilista. Por eso se deberán

efectuar un mínimo de 50 simulaciones para cada uno de los 4 casos, obteniendo así 50 valores diferentes de t_A para cada caso.

Las simulaciones estarán compuestas por, como mínimo, 10 poblaciones distintas generadas aleatoriamente. Por cada una de estas 10 poblaciones se efectuarán 5 simulaciones distintas y en caso de que estas 5 simulaciones proporcionen resultados muy similares se deberán generar aleatoriamente 50 poblaciones y efectuar una simulación por cada una de ellas.

En la realización del presente TFG y debido al carácter poco cambiante de la dotación de un buque de guerra se han hecho 30 simulaciones por cada caso utilizando la misma población (el propio programa genera una respuesta diferente para cada grupo de individuos dentro de los parámetros de comportamiento introducidos manualmente).

En cada caso de estudio, el valor t_i es superior en más de 95% a todos los valores calculados (es decir, en cada uno de los 4 casos, los tiempos t_A se clasifican de menor a mayor y se selecciona aquel t_R para el cual el 95% de los valores clasificados son inferiores).

Para cumplir con las normas de eficacia, debemos incluir un margen de seguridad Δ que se añade a t_i para tener en cuenta los supuestos previamente formulados en estas directrices, siendo para los casos 1 y 2 $\Delta=600s$ y para los casos 3 y 4 $\Delta=200s$.

El tiempo de desplazamiento T será el mayor de los cuatro tiempos de desplazamiento calculados para cada caso. El tiempo de desplazamiento de cada caso se calculará de la siguiente manera:

$$T_c = t_i + \Delta \quad 5)$$

En cuanto al tiempo de respuesta y atendiendo al adiestramiento propio de la dotación de un buque de guerra, en el presente TFG se asume que este será la mitad que en el caso de un buque de pasajeros. Los valores utilizados son 2,5 minutos para casos diurnos (2 y 4) y 5 minutos para casos nocturnos (1 y 3).

2.2.2.3 Actualización de los métodos de evaluación a través de la Circular 1238

En esta circular se hace una actualización de los métodos de evaluación para el análisis de la evacuación, lo más importante se describen a continuación [5].

En cuanto al método de análisis simplificado de la evacuación. Se modifica una de las suposiciones de la serie de supuestos comunes para la realización del análisis, el factor de seguridad (que tiene en cuenta los efectos del movimiento del buque, las condiciones físicas de los pasajeros, etc.), pasando a tener un valor de 1,25.

Debido a este cambio, se modifica también el cálculo del tiempo de evacuación y más específicamente las normas de eficacia requeridas. Serán:

$$\bullet \quad 1,25(A + T) + \frac{2}{3}(E + L) \leq n \quad 6)$$

$$\bullet \quad E + L \leq 30' \quad 7)$$

De manera que el gráfico que indica estas normas de eficacia requeridas por la OMI se convierte en:

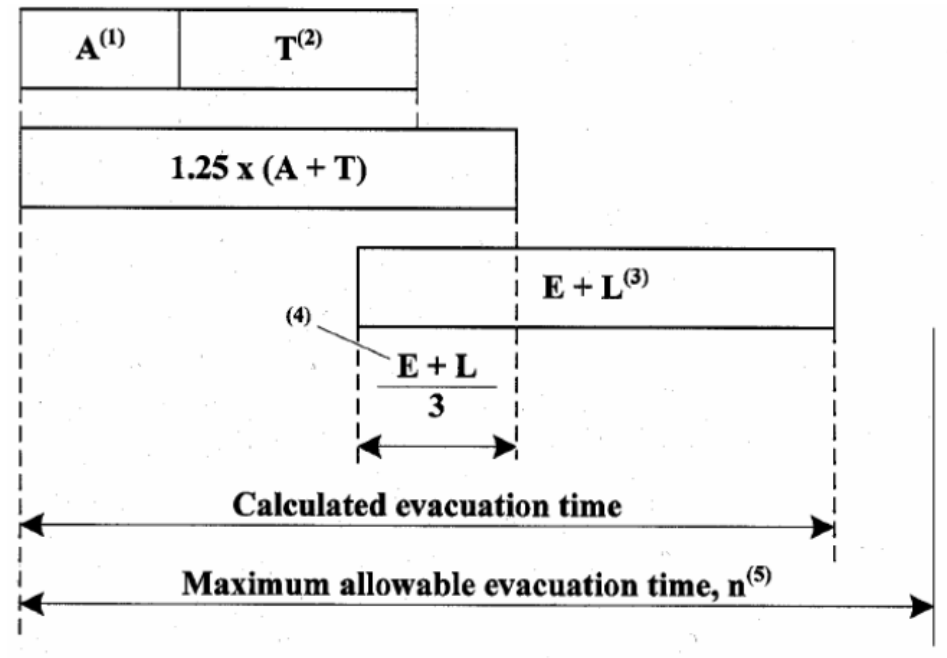


Figura 2-3 Normas de eficacia requeridas por la OMI para el análisis simplificado de la evacuación [5]

Los valores de la ecuación 6 exigidos por la OMI no cambian con respecto a la Circular 1033. En cuanto a la ecuación 7 tampoco se produce ningún cambio con respecto dicha circular.

En cuanto al análisis perfeccionado de la evacuación es igual que en el caso del análisis simplificado de la evacuación se modifica una de las suposiciones, e igual que en el caso anterior se modifica el factor de seguridad y se establece 1,25. Quedando las ecuaciones que definen las normas de eficacia exigidas por la OMI de la siguiente manera:

- $1,25T + \frac{2}{3}(E + L) \leq n$ 8)

- $E + L \leq 30'$ 9)

Los valores que exige la OMI para la ecuación 8 no varían respecto a la Circular 1033. En el caso de la ecuación 9 los valores de esta ecuación, así como el método para calcularlos tampoco varían.

2.2.3 Naval Ship Code

El Naval Ship Code (NSC) es un documento sin clasificar hecho por la OTAN publicado en el ANEP 77. El objetivo de este documento es trasladar el Convenio SOLAS al ámbito militar, donde hasta la creación del NSC no existía ningún documento estándar con el objetivo de asegurar el cumplimiento de unos objetivos relacionados con la seguridad de las personas embarcadas en buques de guerra [13].

La creación de este documento se inició en julio del 2003 cuando el Grupo de Capacidad Marítima que está ubicado dentro del Grupo de Armamento Naval de la OTAN creó un equipo de especialistas llamado Naval Ship Safety and Classification e invitó a participar a los diferentes países miembros de la OTAN, Partners for Peace y a las Sociedades de Clasificación pertenecientes a la Naval Ship Classification Association.

El objetivo del NSC (ANEP-77) es proporcionar un estándar aceptado internacionalmente para la seguridad de los buques en el ámbito naval basado en las convenciones de la Organización Marítima Internacional y que atañe a la mayoría de los buques de superficie utilizados por las diferentes marinas de guerra de la OTAN [12].

El documento no incluye medidas diseñadas específicamente para hacer frente a los efectos de un ataque militar, sin embargo proporciona un marco de medidas que asegure como mínimo un nivel de seguridad equivalente al proporcionado por el Convenio SOLAS para buques mercantes.

En lo referente a la estructura, el Naval Ship Code adopta un enfoque basado en objetivos. El principio básico de este tipo de enfoque es que este documento define el “qué” sin definir el “cómo”. Esto tiene sentido en un contexto como el actual en el que continuamente surgen nuevos tipos de buques para hacer frente a las nuevas amenazas, así, este enfoque basado en objetivos nos permite adoptar distintas soluciones para los nuevos buques cumpliendo con los objetivos fijados por el reglamento.

Para desarrollar el NSC, se adoptó una estructura jerárquica en la que existen diferentes niveles, a medida que se desciende de nivel, aumenta el grado de detalle en el que el NSC incurre. Esto queda claro en la Figura 2-4 Estructura basada en objetivo que sigue el Naval Ship Code

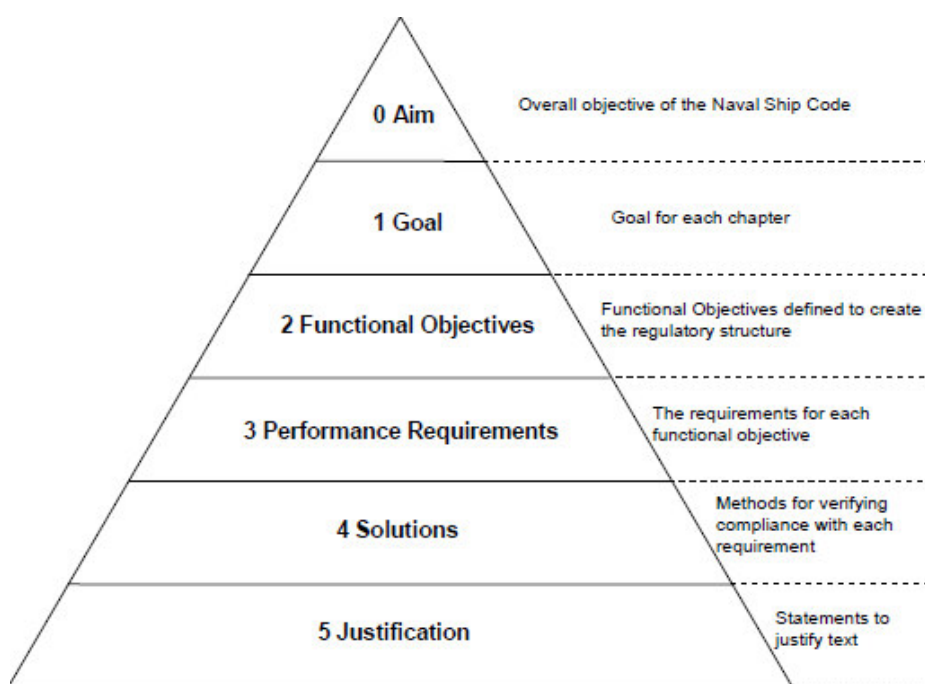


Figura 2-4 Estructura basada en objetivo que sigue el Naval Ship Code [12]

El equipo de especialistas Naval Ship Safety and Classification fue el encargado de fijar el objetivo global del NSC y de establecer los objetivos de cada capítulo, sin embargo, se asignó el desarrollo de cada una de las siguientes capas a un equipo de estudio especializado en la materia. El proceso fue el siguiente:

- Objetivo global: el equipo de especialistas se establece el propósito general del reglamento.
- Objetivo: el equipo de especialistas establece el objetivo particular de cada capítulo.
- Área funcional: un equipo de estudio lleva a cabo una evaluación de riesgos mediante un análisis funcional cuyo resultado es la identificación de los aspectos para los que se necesitan unos requisitos y unos criterios de adaptación.
- Requisitos: se establece para cada área funcional un conjunto de requisitos de obligado cumplimiento para el buque.
- Verificación: se establece un criterio de evaluación para verificar que el buque cumple con los requisitos establecidos.
- Justificación: documento que justifica el cumplimiento de los requisitos por parte del buque.

2.2.3.1 Descripción y objetivos

Como resultado del proceso anterior, el Naval Ship Code, también conocido como Naval SOLAS y cuyo nombre siguiendo la nomenclatura OTAN es Allied Naval Engineering Publication (ANEP-77), consta de 10 capítulos en los que se trata respectivamente en cada uno de ellos un área funcional [12].

- Capítulo I. Generalidades.
- Capítulo II. Estructura.
- Capítulo III. Estabilidad y flotación.
- Capítulo IV. Instalaciones y máquinas.
- Capítulo V. Instalaciones eléctricas.
- Capítulo VI. Seguridad contra-incendios.
- Capítulo VII. Escape, evacuación y rescate.
- Capítulo VIII. Radiocomunicaciones.
- Capítulo IX. Seguridad en la navegación.
- Capítulo X. Transporte de mercancías peligrosas.

Pese a la posible utilidad de la utilización de la normativa referente al buque civil como referente en el momento de abordar temas como la seguridad de las dotaciones y la evacuación de esta en situaciones de emergencia, conviene y es necesario llevar a cabo una profunda revisión del NSC para poder determinar con exactitud los requisitos y objetivos que este establece al respecto.

Los objetivos y requerimientos que establece el NSC en cuanto al proceso de evacuación de un buque están en su mayoría recogidos en el Capítulo VII. Escape, evacuación y rescate. Y estos son:

- Proporcionar un escape efectivo para todas las personas embarcadas desde cualquier lugar ocupado del buque hasta un lugar seguro durante el transcurso de una emergencia.
- Proporcionar un medio efectivo de evacuación del buque.
- Proporcionar un medio efectivo de rescate de personas en el agua.

Estos objetivos nos permiten extraer unas pautas a seguir a la hora de elaborar un modelo matemático que analice el proceso de evacuación de un buque de guerra. Este deberá ser válido durante el ciclo de vida del buque al completo considerando las distintas situaciones operativas del buque y teniendo en cuenta a todas las personas que conforman su dotación, además deberá prever las distintas distribuciones del personal de a bordo así como las averías más probables que puedan producirse.

2.2.3.2 Requisitos a cumplir

En el nivel 3 (Figura 2-4 Estructura basada en objetivo que sigue el Naval Ship Code) dentro del Capítulo VII, se establecen los requisitos generales a cumplir por los elementos que intervengan en el proceso de escape, evacuación y rescate.

Estos elementos deberán permitir a todas las personas embarcadas escapar y llegar a la zona de evacuación de la manera más efectiva posible, así como el posterior tránsito hasta las balsas salvavidas. Su robustez deberá hacerlos adecuados a las condiciones ambientales en las que el buque opere y deberán ser redundantes y adecuados a las personas que se prevea vayan a utilizarlos.

En la actualidad las misiones que desempeña un buque de guerra han ido evolucionando y no se reducen al combate como ocurría en el pasado, con frecuencia los buques de guerra prestan su apoyo en misiones humanitarias, misiones de paz, y otras que no están íntimamente relacionadas con las misiones habituales en caso de guerra. Ante esto, marinas occidentales como la Armada Española llevan a cabo iniciativas como por ejemplo las dotaciones configurables (presente en Buques de Acción Marítima en los que pese a contar con una dotación de 35 personas, está preparado para aumentar este número en 36 personas más en función de la misión).

Por estas razones el Naval Ship Code, tiene en cuenta el aumento de las situaciones operativas en un buque de guerra y define seis categorías diferentes de personas embarcadas:

- Dotación: grupo de personas que transporta el buque para su control, operación y mantenimiento. Deberán ser disciplinados, tener buena forma física y gran conocimiento del buque así como de sus equipos de seguridad.
- Fuerzas embarcadas: personas que no pertenecen a la dotación pero que están relacionadas con la misión del buque que les transporta. Deberán ser disciplinados, tener buena forma física y conocer el buque y sus equipos de seguridad.
- Personal especial: personas que transporta el buque, no pertenecen a la dotación pero están relacionadas con la misión específica del mismo (plana mayor, personal científico, etc.). Deberán ser disciplinados, tener buena forma física y conocer mínimamente el buque y sus equipos de seguridad.
- Heridos: el NSC no hace provisiones ante este suceso.
- Pasajeros: personas embarcadas que no pueden ser incluidas en ninguna de las categorías anteriores (visitantes, familiares, etc.). Son personas no familiarizadas con el buque.
- Personas transportadas en emergencia: procedentes de una evacuación.

En cuanto a las rutas de escape, en la Regla 16 del Capítulo VII, el NSC establece que estas deberán facilitar el movimiento de todas las personas a bordo desde cualquier punto del barco hasta las zonas de reunión y las estaciones de abandono de manera eficaz, siendo lo suficientemente flexibles como para cumplir el objetivo cuando alguna ruta no esté disponible. Deberán tener en cuenta el número previsible de personas embarcadas así como el tamaño y situación de cada espacio del buque. Al diseñarse las rutas se deberán estimar las averías más probables y además considerar la influencia del entorno (humo, oscuridad, etc.) y considerar las diferentes condiciones de estanqueidad que pueda establecer el buque.

2.2.3.3 Método de verificación del Naval Ship Code

Debido al carácter de la estructura de este código (basado en objetivos), el NSC no indica la manera de cumplir los objetivos y requerimientos que establece, sin embargo determina un modo de verificar que estos se cumplen.

Para analizar el caso que nos ocupa (proceso de evacuación de un buque de guerra) la metodología de verificación propuesta por el NSC está basada en la MSC/Circular 1238 de la OMI [5] (este documento está explicado en el apartado *Normativa Organización Marítima Internacional a través del código MSC*). Y establece que el buque cumple los requerimientos determinados por el NSC si es posible evacuar el buque intacto en menos de 30 minutos o; es posible escapar y evacuar el buque intacto en menos de 60 minutos si es un buque con espacio de carga Ro-Ro y menos de tres zonas verticales de fuego, o menos de 80 minutos para el resto de los buques.

Para verificar que sea posible la evacuación en el tiempo requerido, el NSC diferencia seis escenarios diferentes:

- Caso 1: tránsito normal durante la noche.
- Caso 2: tránsito normal durante el día.
- Caso 2b: zafarrancho de combate.
- Caso 3: igual que Caso 1.
- Caso 4a: igual que Caso 2a.
- Caso 4b: igual que Caso 2b.

En los tres últimos escenarios (3,4a y 4b) y solamente para la zona vertical que genere mayor tiempo de viaje se analizará una de las dos siguientes alternativas:

- Alternativa 1: solo el 50% de las escalas en la zona vertical está disponible.
- Alternativa 2: el 50% de la población de las zonas verticales colindantes entra en la zona vertical de estudio.

En el caso de estudio de este TFG y aunque se trata de un buque de guerra, no se han realizado los casos 2b y 4b. La razón es que durante un zafarrancho de combate la dotación se encuentra ocupando

sus puestos de combate y dado que en el trabajo se analiza la evacuación en la zona de habilitación donde no están situados los puestos de combate, no tiene sentido realizar la simulación de estos casos.

2.2.4 Normativa de la Armada Española (D-CP-09)

Con el objeto de proporcionar seguridad a la vida de las personas que conforman las dotaciones de los buques de la Armada Española y para cumplir los requisitos establecidos en el Naval Ship Code, la Armada en la Doctrina de Control de Plataforma en el libro 9, D-CP-09 Manual de Doctrina de Maniobra y Navegación, en el Volumen de Navegación, Sección X, establece “*Un procedimiento para efectuar de la forma más efectiva posible el abandono de un buque y servir de guía para la elaboración del plan de abandono de buque adaptado a cada tipo de buque*” [14].

2.2.4.1 Plan de Abandono de Buque

El plan de abandono de buque es un documento que deberá ser elaborado de manera similar pero adaptándose a cada tipo de buque en función de sus características de dotación y personal embarcado en cada momento. Cualquier persona o grupo de personas que embarque, aunque sea de manera temporal, en un buque de la Armada Española deberá ser incluida el plan de dicho buque.

La doctrina establece que todos y cualquiera de los planes de abandono de buque deberán incluir una serie de aspectos entre los que se destaca la distribución de todo el personal embarcado entre las distintas estaciones con las que cuenta el buque y su asignación a una de las balsas salvavidas (no entendiendo por balsas salvavidas embarcaciones como RHIBs, balleneras o incluso helicópteros).

Además la D-CP-09 estipula que deberán incluirse procedimientos con los objetivos de controlar la manera en la que las personas se dirigen a sus estaciones asignadas y de establecer un flujo de novedades fiable y rápido que permitan asegurarse al Comandante de un buque de que la situación de todo el personal a bordo del barco es conocida y correcta de manera que se pueda iniciar el proceso de abandono del barco.

2.2.4.2 Deberes y responsabilidades del personal

Este manual establece una serie de deberes y responsabilidades que las distintas personas a bordo de un buque deberán cumplir durante una situación de abandono de buque.

Fija las acciones que deberán realizar; Comandante del buque, Segundo Comandante del Buque, todos los Jefes de Servicio en general, Jefe del Servicio del Sistema de Combate/Operaciones en particular, Oficial de Derrota, Oficial de Comunicaciones, Oficial Habilitado, Oficial de Maniobra, Oficial de Seguridad Interior, personal enfermero, los grupos de control y salvamento, los Jefes de Estación.

Finalmente da unas directrices que deberán regir el comportamiento de toda la dotación:

- Ayudar al personal herido a ocupar sus puestos de abandono.
- Acudir a sus puestos rápidamente y en silencio vistiendo pantalón, botas, camisa o jersey de manga larga y prenda de cabeza (nunca un casco, cuyo uso está prohibido en esta situación)
- Seguir las normas de circulación establecidas en el buque.
- Mantener la máxima condición de estanqueidad al desalojar los compartimentos.
- Si hay tiempo suficiente se deberán abrir los candados y cerraduras (manteniendo la condición de estanqueidad) para facilitar la labor del equipo de salvamento y permitir la distribución de víveres y pertrechos a las estaciones.
- Todo el personal provisto de chaleco salvavidas en caso de necesidad desactivará el sistema de inflado automático con el accesorio de “control manual”

2.2.4.3 Equipo de Control y Salvamento

El equipo de Control y Salvamento es un pequeño grupo de integrantes de la dotación que antes de efectuar el abandono de buque realiza una serie de labores entre las que destacan llevar un control de

que el resto de la dotación esté ejecutando las acciones de manera correcta, ayudar al personal que lo necesite, colaborar con el salvamento del material que se haya ordenado salvar y completar con la destrucción y hundimiento del material que se deba destruir.

Debido al carácter de la labor que este grupo tiene que desempeñar, la D-CP-09 no establece una serie de misiones a cumplir por este. Sin embargo resalta la importancia de este personal y en concreto del grupo de Mando, al que insta a tener una actitud proactiva en cuanto a la toma de decisiones.

2.2.4.4 Instrucciones individuales para el abandono

En este apartado, se explican las principales causas de lesiones que se producen cuando ocurre una catástrofe de este tipo y se proporciona una serie de medidas cuyo objeto es reducir en la medida de lo posible este tipo de accidentes.

El manual indica que siempre que sea posible el abandono de buque se realizará totalmente vestido con el objetivo de preservar el calor corporal y retrasar la congelación. Si las aguas son muy frías y con este mismo propósito, recomendando embadurnarse la cara, manos y pies con vaselina o grasa consistente.

Debido al tamaño de las raciones de agua dulce, se recomienda beber antes de abandonar el buque. En la medida de lo posible se intentará beber bebidas calientes que aumenten la temperatura corporal. Nunca se deberá beber alcohol.

A la hora de saltar al agua la doctrina insta al personal a: tener presente el rumbo y la distancia a la tierra más próxima, liberar todos aquellos objetos que puedan flotar y sirvan al personal como ayuda una vez en el agua. Conocer la dirección del viento y abandonar el buque por la banda de barlovento (ya que si existe viento moderado, el buque deriva más rápido que la velocidad que un ser humano puede alcanzar nadando) para alejarse de la zona del naufragio lo antes posible. Utilizar en la medida de lo posible cabos (cuerdas) para descolgarse, evitando así el impacto con el agua al saltar desde la cubierta.

2.2.4.5 Ejecución del abandono

La D-CP-09 distingue dos posibilidades, urgente y controlado. El abandono urgente se llevará a cabo cuando la gravedad de la emergencia que se ha producido sea tal, que la pérdida del buque es inminente y no se pueden llevar a cabo las tres fases de un abandono de buque controlado de manera ordenada. En este caso, se ordenará por “ABANDONO DE BUQUE URGENTE” y el personal acudirá directamente a las balsas y la primera acción a tomar es el arriado de estas. A la vista de esto se deduce que el personal en su totalidad deberá conocer el procedimiento de arriado de la balsa.

El abandono de buque controlado se llevará a cabo si las circunstancias lo permiten. En este tipo de abandono de buque se distinguen tres fases que comienzan con la orden de abandono de buque que será dada por el Comandante: preparación, abandono de buque por parte de la dotación, abandono de buque por parte del Equipo de Control y Salvamento.

- Preparación: en esta fase se llevan a cabo las acciones relacionadas con la destrucción de equipos, organización de equipos de control, transmisión de mensajes de socorro, rescate de heridos. La normativa establece una serie de pasos a seguir para llevar a cabo dichas labores.
- Abandono de buque por parte de la dotación: en esta fase, todo el personal a excepción del que forme parte del equipo de Control y Salvamento abandonará el barco de la manera indicada. Mientras tanto el dicho equipo llevara a cabo una serie de acciones descritas en el manual.
- Abandono de buque por parte del equipo de Control y Salvamento: en esta fase, la última, el barco deberá quedar totalmente vacío (en cuanto a personal) y la manera en la que se desarrollará viene especificado en el manual.

2.3 Software de simulación de evacuación

En este apartado se va a realizar una breve revisión de los programas informáticos utilizados en el proceso de análisis de la evacuación, ya sea de un buque o de un edificio, y con el fin de simular los diferentes comportamientos de las personas en situaciones de abandono de un buque/edificio.

A la hora de escoger un programa cuyo objetivo es la simulación de procesos de evacuación, es importante establecer una serie de variables que nos indiquen de alguna manera la bondad de dicho programa.

Debido a que su finalidad es modelar el comportamiento de personas bajo distintas situaciones, la manera en la que el programa reproduce el movimiento de las personas es una de estas variables importantes.

Debido a que un proceso de evacuación se da mayoritariamente en casos en los que se produzca un incendio (en un barco también se incluirá la posibilidad de una inundación), la influencia que tiene el humo que se genera en un incendio sobre el comportamiento de las personas y las decisiones que estas toman es otra de las variables.

Debido a que se requiere seguridad en la validez de los resultados obtenidos por el programa, el uso, validación y existencia de trabajos de investigación que respalden dicho programa es otra de las variables.

Los programas informáticos más utilizados son: FDS+Evac, Maritime EXODUS, STEPS, Simulex y Pathfinder. A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

2.3.1 *Fire Dynamic Simulator + Evac (FDS+Evac)*

Fire Dynamic Simulator es un software libre y gratis desarrollado por el National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, EEUU. Uno de sus paquetes o módulos es FDS+Evac que permite la simulación de evacuación en casos en los que exista un fuego.

El hecho de que sea libre, otorga al programa gran transparencia y provoca que se encuentre en continuo desarrollo. Por otra parte al haber sido utilizado ampliamente existen un gran número de trabajos de investigación acerca de este software y las posibilidades que ofrece [15].

En este programa se pueden modelar escenarios de alta complejidad, como podría ser un buque, teniendo en cuenta las interacciones dentro de los grupos humanos presentes en un buque o un edificio (como por ejemplo los grupos familiares o la diferencia entre líder/seguuidor). Además incluye en las simulaciones realizadas la interacción directa de las personas con el fuego.

Pese a sus claras ventajas, tiene varias limitaciones. Algunas de ellas son por ejemplo el arduo trabajo que supone ajustar los parámetros de entrada (inputs), la dificultad de uso del programa en casos en los que el escenario sea complejo, o el alto trabajo computacional que requiere [16].

2.3.2 *Maritime EXODUS*

EXODUS es un programa informático desarrollado por el Grupo de Ingeniería sobre la Seguridad en el Fuego de la Universidad de Greenwich (Fire Safety Engineering Group). Este software puede ser utilizado tanto para analizar la circulación de peatones como para realizar simulaciones de evacuación. Uno de sus paquetes es el Maritime EXODUS, que permite la utilización de EXODUS para buques.

Está basado en un complejo conjunto de submodelos y pretende reproducir de manera realista las interacciones entre las personas, entre las personas y el fuego y entre las personas y las estructuras (entendiéndose como estructura por ejemplo un barco o edificio) [17].

A diferencia del software anterior, este no es libre, y su precio es elevado. Sin embargo se puede afirmar que está en continuo desarrollo y que también existen gran cantidad de trabajos de investigación

que pueden ser utilizados como referencia de hecho ha sido utilizado en diversos trabajos del Gabinete de Investigación Operativa de la Armada Española [7].

Este programa requiere menos tiempo computacional y ofrece unos resultados muy precisos, permitiendo el modelado de escenarios complejos [16].

2.3.3 STEPS

Desarrollado por Mott MacDonald es uno de los software comerciales más usados a día de hoy, es una herramienta de microsimulación basada en agentes (personas) utilizada para simular el movimiento de los peatones en condiciones tanto normales como de emergencia [18].

Permite la simulación de edificios complejos, sin embargo y aunque permite interaccionar con otros software como FDS, este programa no incluye una modelación compleja de la elección de salida bajo la influencia del humo inherente a un incendio [16].

Aunque no es un software libre, está en continuo desarrollo por su creador y el hecho de que sea uno de los más usados provoca que existan un gran número de trabajos de investigación de referencia.

2.3.4 Simulex

Este software permite llevar a cabo la simulación de la evacuación de grandes edificios mediante la creación de un modelo 3-D de los mismos.

No requiere un alto tiempo computacional y permite el ajuste de los parámetros de entrada (inputs) de una manera rápida lo que lo convierte en uno de los más utilizados en la actualidad, sin embargo no contempla la interacción directa entre el ser humano y el fuego ni tampoco la manera en la que el humo afecta a las elecciones tomadas por las personas a la hora de la evacuar [19].

Existen numerosos trabajos de investigación que se pueden utilizar como referencia a la hora de usar este software.

2.3.5 Pathfinder

Desarrollado por Thunderhead Engineering y relativamente nuevo, es un simulador basado en agentes (personas) del proceso de evacuación de emergencia. Permite realizar una evaluación de los modelos de evacuación de manera rápida, y proporciona los resultados convertidos en una animación 3D [20].

Permite una sencilla modelización de estructuras realmente complejas y un rápido ajuste de los parámetros de entrada. Sin embargo no tiene incorporada la interacción del ser humano con el fuego ni tampoco el impacto que genera el humo en las decisiones que toma el ser humano durante el proceso de evacuación [16].

El hecho de que sea nuevo provoca que no existan muchos trabajos de investigación disponibles que puedan ser utilizados como referencia pero da pie a que se encuentre en continuo desarrollo para la implementación de posibles mejoras que aparecen a medida que aumenta el uso de este modelo.

En el proceso de evacuación simulado durante el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, este ha sido el programa utilizado, en concreto las versiones 2016 y 2017 pues posee una curva de aprendizaje más rápida, además de disponerse de licencia en el Centro Universitario de la Defensa. Además su versatilidad en el postprocesado de los resultados facilita la comprensión y exposición de los mismos.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Modelado

Para llevar a cabo el análisis del proceso de evacuación de la zona de habilitación del Buque de Aprovisionamiento para el Combate Cantabria, es necesario representarlo gráficamente en el programa Pathfinder y posteriormente especificar las características de la dotación y su comportamiento. Tras la representación gráfica, se realizan las simulaciones requeridas por la normativa OMI y NSC con el objetivo de comprobar el cumplimiento de la misma por parte del buque en cuestión. A continuación se detallan los pasos seguidos para la consecución de dicho objetivo.

3.1.1 Modelado de la zona de habilitación del BAC Cantabria

Pathfinder proporciona diferentes alternativas para realizar el modelado del entorno espacial donde se produce la simulación de la evacuación.

- Dibujarlo partiendo desde cero.
- Importar una imagen de fondo y basarnos en esta para proceder a la representación gráfica.
- Importar un archivo CAD y efectuar la simulación sobre este.

De las tres opciones anteriores, la que permite una representación más fiel a la realidad con un grado de detalle mayor es la tercera. Pathfinder permite importar los archivos CAD de cada una de las cubiertas por separado y mediante la herramienta “Extract floor from imported geometry” generará un modelo Pathfinder con el que el programa nos permitirá trabajar para llevar a cabo la simulación.

El primer paso es abrir Pathfinder, al ejecutarlo muestra el entorno gráfico que aparece en la Figura 3-1 Interfaz Pathfinder.

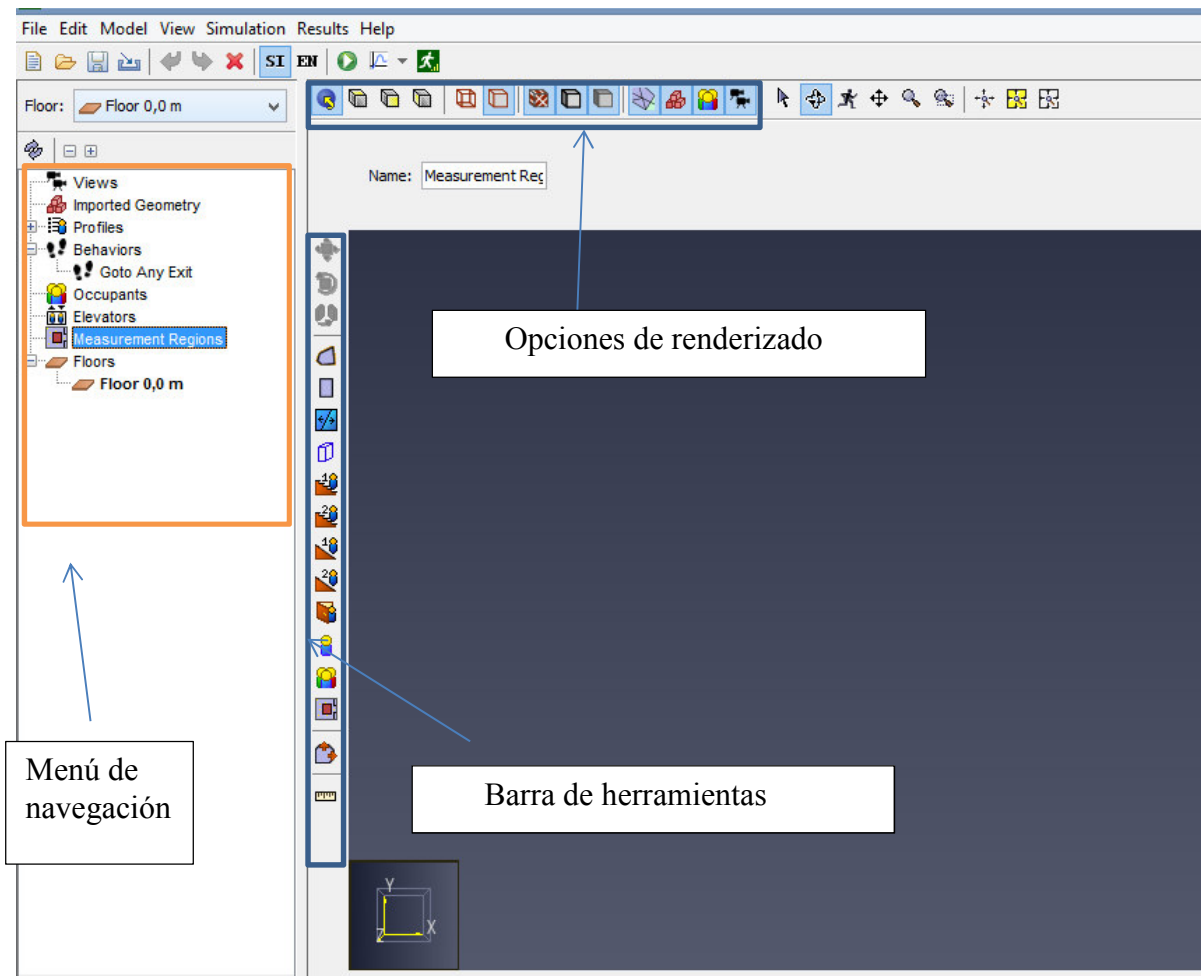


Figura 3-1 Interfaz Pathfinder

El siguiente paso es importar un archivo CAD a partir del cual se vaya a realizar el modelo Pathfinder. Para posibilitar la importación de dicho CAD el software necesita que se introduzcan una serie de datos y ajustes de importación:

- Unidad de medida en base a la cual se creó el documento CAD.
- La tolerancia normal, hace referencia a la calidad en la que se verán los objetos curvos. Un valor muy pequeño provocará que el renderizado sea muy lento pero la calidad será mayor, el valor predeterminado permite un equilibrio aceptable entre calidad y velocidad de renderizado.
- Cuadrículas NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), el término NURBS hace referencia a un modelo matemático utilizado en computación para representar superficies y curvas. Este valor controla la calidad de este tipo de superficies y al igual que en el punto anterior, un mayor valor supondrá un aumento de la calidad y también del tiempo de renderizado. El valor por defecto permite un equilibrio aceptable entre ambos.
- Auto-corrección de polígonos invertidos, este ajuste permite al programa intentar detectar errores en la orientación de los polígonos presentes en el CAD. Se recomienda activar esta opción.
- Mezclar materiales idénticos, permite que el programa reconozca y una los materiales que tengan características idénticas. Reduciendo así la cantidad distinta de materiales.

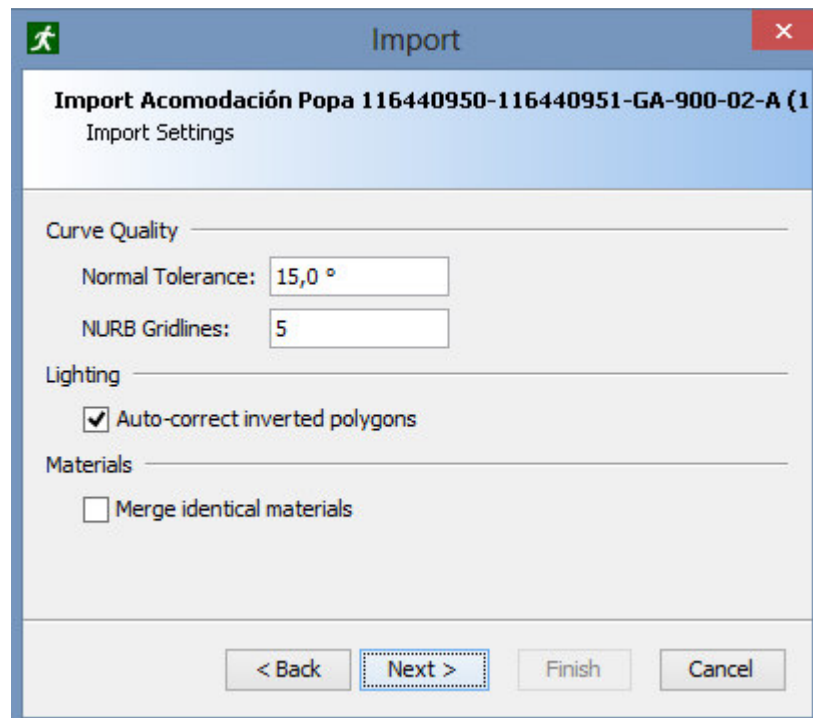


Figura 3-2 Ajustes archivo CAD a importar

A continuación se deberán seleccionar las opciones de importación (Figura 3-3 Opciones de importación), sin embargo el programa automáticamente analiza el CAD que se está importando y decide si contiene un plano en 2D o un modelo 3D y por defecto selecciona las opciones más convenientes para cada uno de los dos tipos. Las opciones son las siguientes:

- Tipos geométricos a importar, distingue entre líneas y caras/superficies. Las líneas están por defecto seleccionadas para archivos CAD con suelos 2D mientras que las caras están seleccionadas por defecto para modelos 3D.
- Establecer el valor del eje Z en el que se va a importar, se deberá especificar el valor requerido.
- Allanar el archivo CAD para que toda la geometría importada se encuentre en un único plano, permite que la geometría importada se ajuste en la dimensión Z especificada anteriormente con una escala muy pequeña. Es útil si los planos que se están importando se han dibujado utilizando varios planos diferentes y uniéndolos ya que el programa los unirá todos en un solo plano.
- Añadir un rectángulo negro para oscurecer las plantas inferiores, esta opción añadirá un rectángulo (negro o del color especificado) al modelo que no se incluirá en la extracción del suelo y facilitará esta. Por defecto está seleccionado solo para planos 2D.

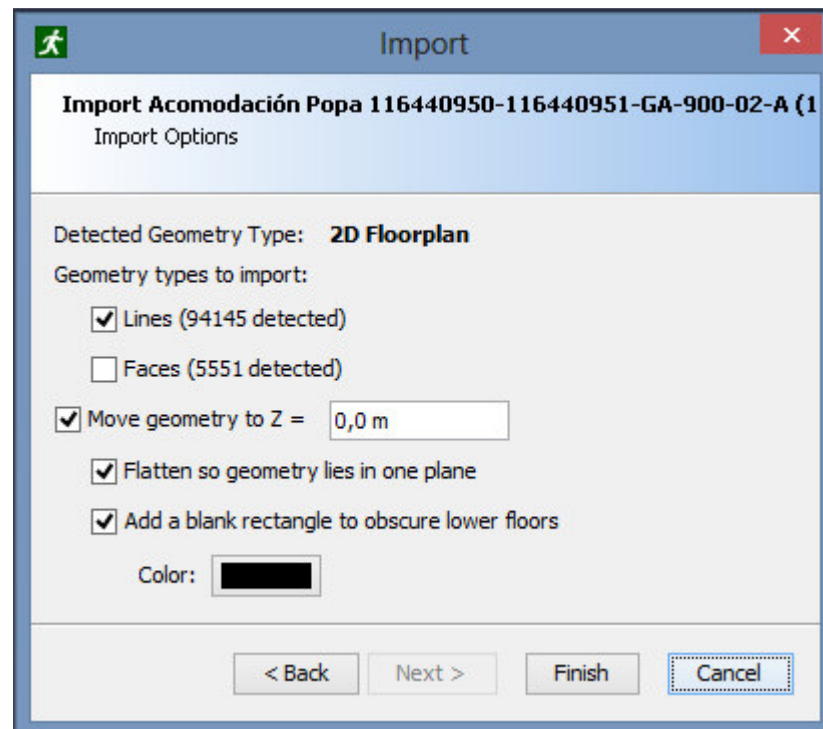


Figura 3-4 Opciones de importación

En este momento aparecerá en pantalla el archivo CAD (tal y como aparece en la Figura 3-5 Archivo CAD sin modelar), sin embargo no se puede realizar la simulación todavía ya que debe aún convertirse en un modelo Pathfinder.



Figura 3-5 Archivo CAD sin modelar

Para convertirlo es necesario utilizar la herramienta “Extract Floor from Imported Geometry”. Esta permite seleccionar el suelo del archivo importado y automáticamente el software lo transforma en una habitación con la que se puede trabajar en el programa. Se deberá entonces ir seleccionando las áreas que se quiera importar, convenientemente de mayor a menor tamaño, y posteriormente corregir los pequeños errores que el programa puede haber cometido.

Para facilitar el uso de la herramienta conviene dejar visibles solo las capas que correspondan a la estructura del buque. Para ello se deberá elegir las capas que interesa dejar visibles en el Menú de

navegación, haciendo clic con el botón derecho y seleccionando la opción “hide” para las capas que no nos interese mostrar.

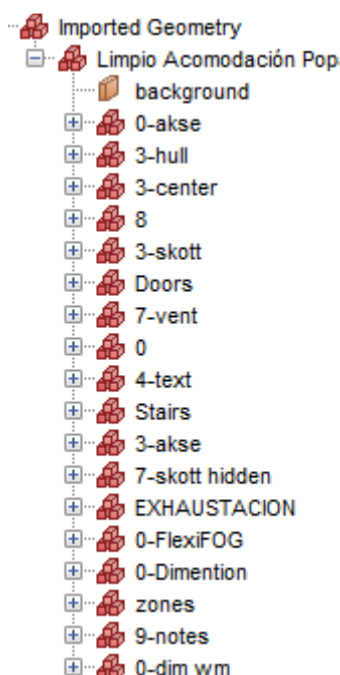


Figura 3-6 Menú de capas del archivo importado

Una vez se haya acabado de extraer el suelo de la cubierta (Figura 3-7 Cubierta con suelo extraído al completo) se deberán insertar las puertas en los lugares indicados, para ello se deberá utilizar la herramienta “Add a new door”. Es importante recalcar la diferencia entre una puerta calificada por el programa como puerta ,“door”, y una puerta calificada como salida, “exit”, las puertas unen dos compartimentos dentro del barco mientras que las salidas unen una habitación del interior del barco con el exterior (que en el programa está representado como la zona en la que el modelo Pathfinder se acaba).



Figura 3-7 Cubierta con suelo extraído al completo

Para añadir una nueva cubierta, se debe elegir la opción “Add new” en el desplegable “floors” que se encuentra en el menú de navegación. Es necesario indicar la altura (Z) a la que se pretende introducir

el nuevo suelo. Para la realización del TFG cada cubierta del buque se correspondía con un suelo y en cada suelo se importó un archivo CAD con los planos de dicha cubierta.

Una vez acabado el modelado de las cubiertas, es necesario introducir las escaleras presentes en el barco que permitirán a los pasajeros de las cubiertas inferiores acceder a las salidas situadas en la cubierta superior. Para esto hay dos opciones en el programa; una es “Create stairs between two edges by choosing a point on each” en la que se seleccionan los dos extremos de la escala, y en la otra “Create stairs by choosing one point on an edge” solo se selecciona uno de los extremos de la escala. En este modelaje se ha utilizado la primera de las dos alternativas.

Tras introducir las puertas y escaleras el modelo Pathfinder queda tal y como aparece en las figuras siguientes :

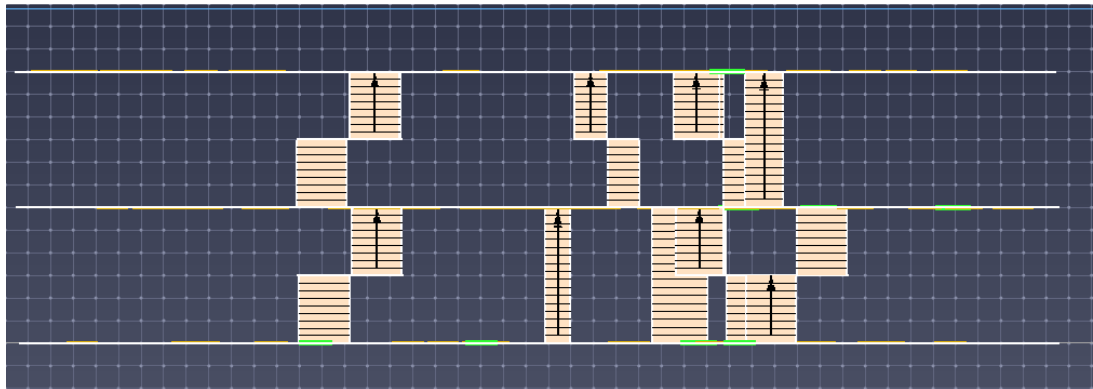


Figura 3-8 Alzado (vista desde proa) modelo Pathfinder

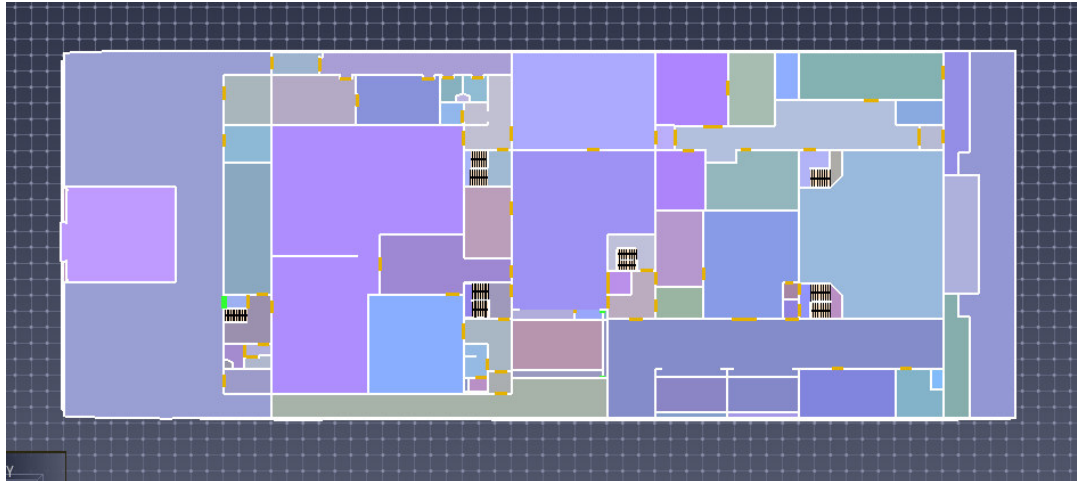


Figura 3-9 Planta modelo Pathfinder

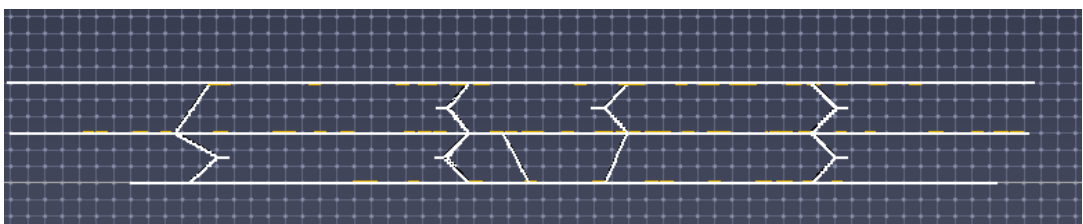


Figura 3-10 Perfil estribor modelo Pathfinder

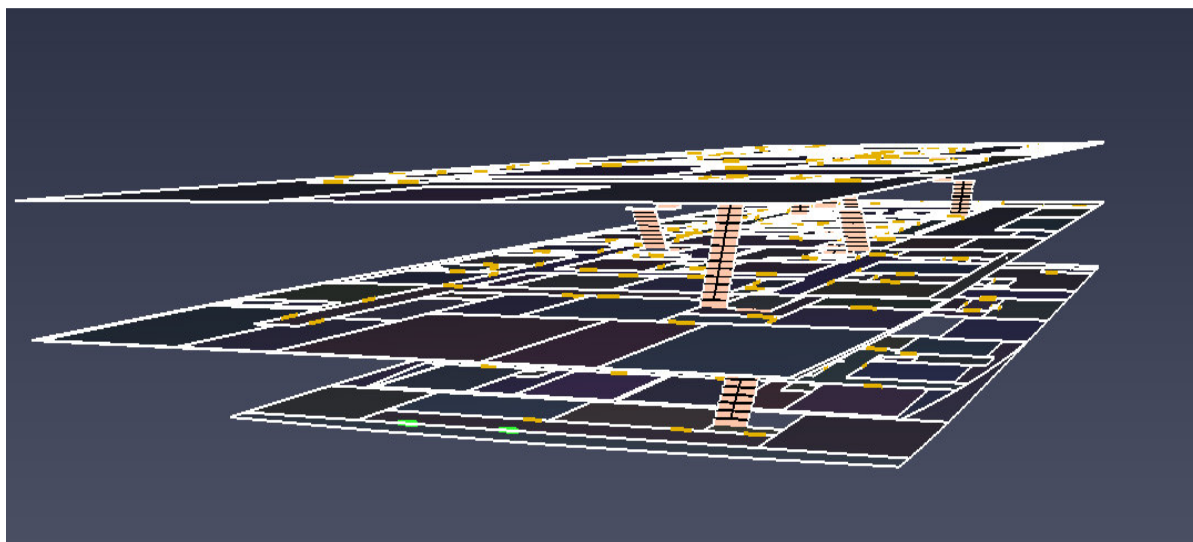


Figura 3-11 Perspectiva desde popa del modelo Pathfinder

Para introducir ascensores en el caso de que sean necesarios, se deberá elegir la posición que coincida con la del ascensor y posteriormente pulsando el botón derecho elegiremos la opción “Create elevator”

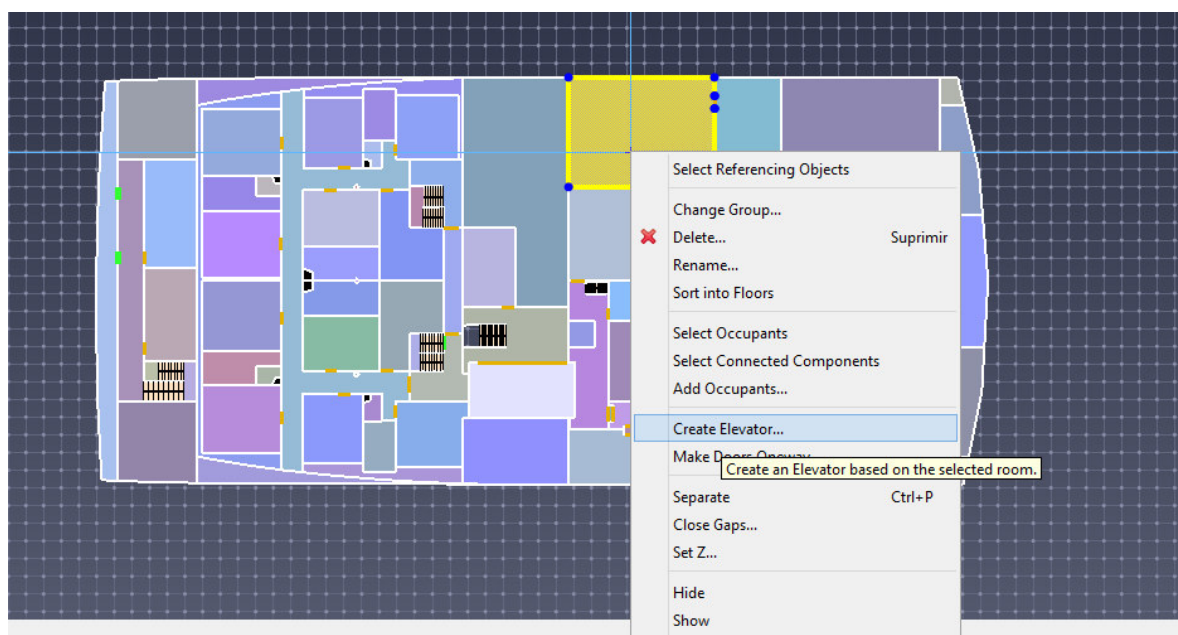


Figura 3-12 Crear un ascensor

Una vez finalizado este proceso, se dispondrá de un modelo Pathfinder de la zona de habilitación del buque Cantabria en el cual no están incluidos los pasajeros, la inclusión de estos está explicada en el apartado a continuación.

3.1.2 Caracterización de los ocupantes

Para poder llevar a cabo la simulación y posterior análisis del proceso de evacuación que pretende este TFG, es necesario incluir la dotación de la manera más fiel a la realidad. A partir de los datos reales de distribución de la fracción de la dotación que se aloja en la zona de habilitación así como de las características de edad y sexo de esta (proporcionados por el A.N. Gómez Rubio, actualmente destinado en el buque objeto de estudio), se han podido incluir en el modelo Pathfinder “agentes/ocupantes” de manera que representen a las personas que conforman la dotación del buque.

Con el objetivo de que los agentes se comporten de la forma más realista posible, es necesario introducir una serie de parámetros de comportamiento propios de cada grupo de edad y sexo. La Organización Marítima Internacional determinó basándose en experiencias que la velocidad de desplazamiento (en terreno liso y en escaleras) propia de una persona dependiendo de su edad, sexo y rol en el buque (pasajero o dotación) sigue una distribución uniforme cuyos valores representativos son los que aparecen en la Tabla 3-1 y la Tabla 3-2

Dado que en el caso que nos ocupa no tiene sentido hablar de pasajeros (en un buque de guerra solo hay miembros de la dotación salvo casos específicos), sólo se hará distinción entre hombres y mujeres.

Population groups – passengers	Walking speed on flat terrain (e.g., corridors)	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Females younger than 30 years	0.93	1.55
Females 30-50 years old	0.71	1.19
Females older than 50 years	0.56	0.94
Females older than 50, mobility impaired (1)	0.43	0.71
Females older than 50, mobility impaired (2)	0.37	0.61
Males younger than 30 years	1.11	1.85
Males 30-50 years old	0.97	1.62
Males older than 50 years	0.84	1.4
Males older than 50, mobility impaired (1)	0.64	1.06
Males older than 50, mobility impaired (2)	0.55	0.91
Population groups – crew	Walking speed on flat terrain (e.g., corridors)	
	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)
Crew females	0.93	1.55
Crew males	1.11	1.85

Tabla 3-1 Velocidad de desplazamiento en terreno liso según la OMI [5]

Population groups – passengers	Walking speed on stairs (m/s)			
	Stairs down		Stairs up	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Females younger than 30 years	0.56	0.94	0.47	0.79
Females 30-50 years old	0.49	0.81	0.44	0.74
Females older than 50 years	0.45	0.75	0.37	0.61
Females older than 50, mobility impaired (1)	0.34	0.56	0.28	0.46
Females older than 50, mobility impaired (2)	0.29	0.49	0.23	0.39
Males younger than 30 years	0.76	1.26	0.5	0.84
Males 30-50 years old	0.64	1.07	0.47	0.79
Males older than 50 years	0.5	0.84	0.38	0.64
Males older than 50, mobility impaired (1)	0.38	0.64	0.29	0.49
Males older than 50, mobility impaired (2)	0.33	0.55	0.25	0.41
Population groups – Crew	Walking speed on stairs (m/s)			
	Stairs down		Stairs up	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Crew females	0.56	0.94	0.47	0.79
Crew males	0.76	1.26	0.5	0.84

Tabla 3-2 Velocidad de desplazamiento en escaleras según la OMI [5]

Para introducir los parámetros de velocidad el programa Pathfinder permite crear perfiles de agentes de manera que un grupo de agentes diferentes puede tener asignado el mismo perfil y así se hace distinción de sexo. Es decir, el perfil cuyo parámetro de velocidad corresponda al que aparece en las dos

figuras anteriores (Tabla 3-1 y Tabla 3-2) para una mujer, tendrá asignado un número de agentes igual a la cantidad real de mujeres que están destinadas en el BAC Cantabria, y así para los hombres.

Tras crear el perfil, aparecerá un cuadro de diálogo en el que se introducirá el nombre del perfil, y en el siguiente cuadro de diálogo (Figura 3-14 Cuadro de diálogo de selección de propiedades de un nuevo perfil) se introducen las propiedades del perfil. Las opciones que el programa permite editar al crear un perfil son las siguientes:

- Adjudicarle un modelo 3D de agente predeterminado a cada ocupante/grupo de ocupantes. En el presente TFG se han utilizado cuatro modelos diferentes:



Figura 3-13 Modelos 3D utilizados

- En cuanto a la velocidad de movimiento del ocupante se puede elegir entre introducir un valor constante de velocidad o modelar la velocidad como una distribución estadística (uniforme, normal, normal-logarítmica). En este TFG se ha modelado la velocidad como una distribución uniforme (siguiendo normativa OMI [5]) y como una distribución formal (basado en las experiencias realizadas en la Armada Española [7]).
- Prioridad, es posible asignar prioridades a los ocupantes de manera que un ocupante con menor prioridad se apartará del camino de uno con una prioridad mayor.
- Ancho de hombros, esto definirá el diámetro del cilindro que representará a cada ocupante.
- Necesidad de asistencia para moverse y posibilidad de uso de escaleras.
- Se puede determinar que los ocupantes con un determinado perfil no hagan caso de las restricciones de dirección única en las puertas, y que estos caminen o no en escaleras mecánicas.
- También permite incluir factores que afecten en: la decisión de puerta por parte del ocupante, el tiempo de espera en una cola y la decisión de un camino u otro.

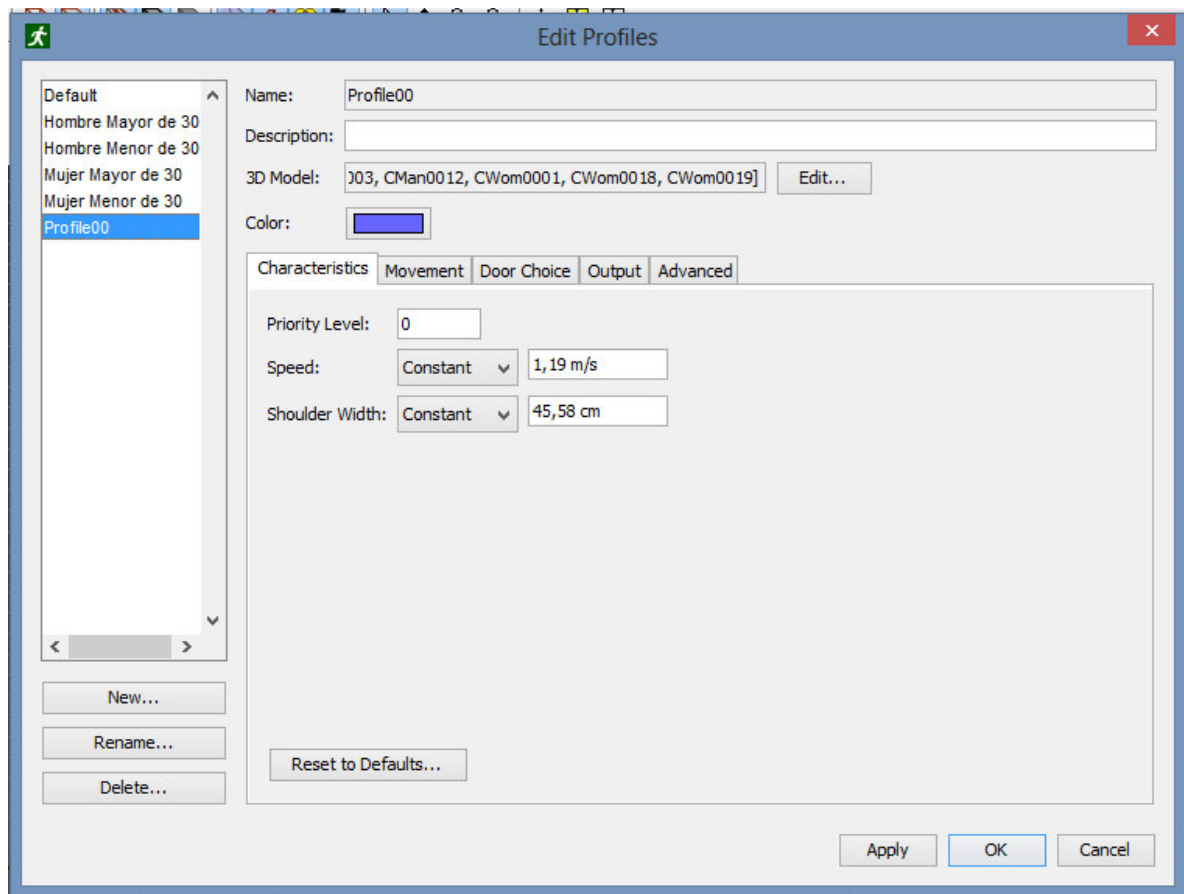


Figura 3-14 Cuadro de diálogo de selección de propiedades de un nuevo perfil

Sin embargo, durante la creación de estos perfiles no se puede hacer distinción entre velocidad en terreno liso y velocidad en escaleras. Para tener en cuenta que este valor en la vida real es diferente, se ha hallado la relación entre estas dos velocidades y con este valor el programa nos permite introducirlo en el elemento “escala”.

Al seleccionar una escala, aparecerá, debajo de las opciones de renderizado, lo siguiente:

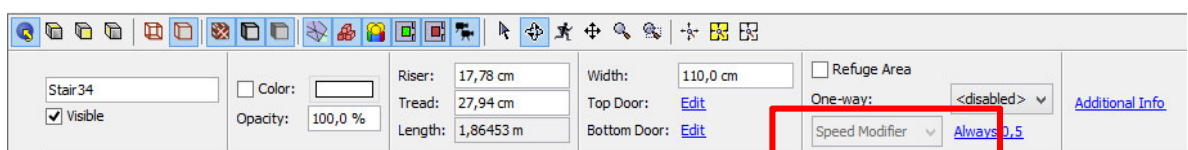


Figura 3-15 Selección velocidad en escala

Seleccionando el recuadro de la figura anterior se deberá introducir el valor de la relación de velocidades anteriormente calculado.

Lo siguiente que hay que realizar es asignar a cada grupo de ocupantes el perfil que les corresponde. El primer paso es crear dos grupos de ocupantes, uno de mujeres y otro de hombres. Para ello habrá que seleccionar con el botón secundario la pestaña de ocupantes en el menú de navegación y elegir la opción “New group”. Una vez creado el grupo hay que asignar ocupantes que pertenezcan a este grupo.

Una vez creados todos los perfiles y asignados estos a los distintos grupos de ocupantes solo quedará, para completar la caracterización de los agentes, determinar el comportamiento de estos durante la simulación de evacuación. Para esto, el programa Pathfinder permite la creación de “Behaviours”. Mediante el establecimiento del camino a seguir por cada ocupante durante la evacuación, estos permiten la creación de las rutas de escape.

Una vez creado el comportamiento deberán introducirse sus características propias. Pathfinder permite elegir la ruta de escape de los ocupantes incluyendo “waypoints” a los que los ocupantes acudirán en el orden que se especifique, otra opción es seleccionar compartimentos (“rooms”) a las que los ocupantes acudirán durante su evacuación. El comportamiento permite la selección de la puerta de salida por que deberán utilizar los ocupantes o si por lo contrario, el ocupante puede salir por cualquiera de las salidas (la elección de salida la realizará automáticamente el programa basándose en parámetros como la distancia o las preferencias de puerta).

La selección de los “waypoints” ha sido clave pues en la evacuación de un buque de guerra es necesario definir la ruta exacta de los tripulantes pues no es aleatoria como en un barco de pasajeros, ya que se realizan constantes simulacros y está perfectamente procedimentado.

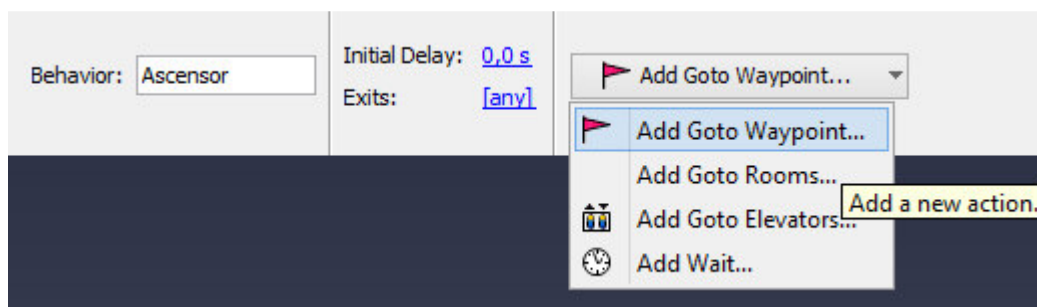


Figura 3-16 Definir características de un comportamiento

3.2 Simulación de evacuación

El buque objeto de este TFG es el BAC Cantabria. Este buque tiene 173,9 metros de eslora, 23 metros de manga, 8 metros de calado, desplaza 19600 toneladas y una dotación mixta de 155 personas. Sin embargo en este trabajo no se pretende analizar el proceso de evacuación del buque entero sino que se centrará en la zona de habilitación de popa (Figura 3-18 Vista desde popa del BAC Cantabria).

En esta zona están alojadas 134 personas, 80 de estas pertenecen a la escala de Marinería, 27 son Cabos Primeros y 27 Suboficiales.



Figura 3-17 Costado de babor del BAC Cantabria [21]



Figura 3-18 Vista desde popa del BAC Cantabria

3.2.1 Casos de Estudio

Se realizará tal y como se indica en el Apartado 2.2.2.2 la simulación para cada uno de los siguientes casos:

- Caso 1: evacuación nocturna con todas las vías de evacuación disponibles.
- Caso 2: evacuación diurna con todas las vías de evacuación disponibles.
- Caso 3: evacuación nocturna con el 50% de las zonas verticales principales disponibles.
- Caso 4: evacuación diurna con el 50% de las zonas verticales disponibles.

3.2.2 Distribución del personal en los distintos casos

Para todos los casos se considera que el buque se encuentra navegando en régimen de 3 vigilancias, por lo que un tercio del personal alojado en habitación popa se encuentra en sus puestos de guardia que se asume están fuera de la zona de habitación. La distribución de personal para cada uno de los casos es la que sigue:

- Caso 1: 40 personas en la cubierta 1 (40 hombres), 50 personas en la cubierta Ppal (12 mujeres, 38 hombres), 0 personas en la de aprovisionamiento.
- Caso 2: 40 personas en la cubierta 1 (40 hombres), 19 en la cubierta Ppal (2 mujeres y 17 hombres), 31 personas en la cubierta de aprovisionamiento (10 mujeres y 21 hombres).
- Caso 3: igual distribución que Caso 1.
- Caso 4: igual distribución que Caso 2.

3.2.3 Plan de abandono de buque

Se supondrá que tiene lugar una evacuación de emergencia, en la que se arrian las balsas y la dotación abandona el buque desde la toldilla. Se supondrá que tiene lugar una emergencia sin previo aviso y no se puede efectuar un abandono de buque controlado que sería lo ideal.

El arriado de balsas será efectuado por el personal de guardia (personal no incluido en la simulación) mientras que el personal franco de guardia abandona el buque por la popa.

3.2.4 Parámetros utilizados en la simulación

En este TFG se compararán los resultados de las simulaciones realizadas introduciendo en los perfiles los parámetros de velocidad tal y como está especificado en la normativa de la OMI [5] con los

resultados obtenidos introduciendo los parámetros de velocidad procedentes de experiencias en la Armada Española [7].

La principal diferencia es que la OMI afirma que la velocidad de los individuos se deberá modelar como una distribución uniforme siguiendo los valores de la Tabla 3-1 y la Tabla 3-2 mientras que las pruebas realizadas en la Armada Española determinan que la velocidad se deberá modelar como una distribución normal [7]. Además los valores de velocidad que acotan las dos distribuciones distintas son diferentes, siendo estos mayores en las experiencias de la Armada Española.

	SEXO	OMI	ARMADA
		Distribución Uniforme	
Velocidad Pasillo (m/s)	Hombre	[1,11 , 1,85]	
	Mujer	[0,93 , 1,55]	datos censurados
Velocidad escaleras/Velocidad Pasillo	Hombre	0,5	
	Mujer	0,5	

Tabla 3-3 Parámetros de velocidad utilizados en las simulaciones

Dado que la dotación del buque Cantabria se puede considerar una población fija, es decir, no sufre grandes cambios para la simulación del proceso de evacuación se han realizado 30 simulaciones por cada caso. La normativa establece que deberán ser 50 por cada caso pero la razón de este número es que en el caso de un buque de pasajeros la población tiene un intervalo de edades y condiciones físicas más variado, además no se puede considerar fija y el elevado número de simulaciones pretende incluir el factor de aleatoriedad de los cambios en la población de pasajeros.

En cuanto al tiempo de evacuación, de los 30 tiempos hallados con las simulaciones para cada caso se escogerá aquel que supere al 95% de los valores y habrá que añadirle un margen de seguridad, el tiempo de reacción (A) y el tiempo de embarque (E+L): el margen de seguridad se considerará 600 segundos para casos 1 y 2 y 200 segundos para casos 3 y 4 [5], el tiempo A se considerará 2,5 minutos para caso 2 y caso 4 y 5 minutos para caso 1 y caso 3 (la mitad que para un buque de pasajeros debido al adiestramiento de la dotación de un buque de guerra); para el tiempo de embarque el NSC establece que deberá ser de 5 minutos como máximo [12].

3.3 Análisis Estadístico de Datos

Una vez obtenidos los datos a partir de las simulaciones realizadas, es necesario llevar a cabo un análisis estadístico de éstos para poder evaluarlos y extraer los resultados más importantes así como las conclusiones principales.

Gracias a este paso se puede realizar una comparativa entre los resultados obtenidos para los diferentes casos y los resultados esperados, lo que hace posible verificar la validez de los pasos seguidos a lo largo del trabajo.

3.3.1 Análisis Descriptivo

Este estudio pretende mediante unas medidas resumen de los datos extraer unas características cumplidas por el conjunto de los datos. Para esto las medidas deberán reflejar las peculiaridades del conjunto de datos de una forma lo más exacta posible.

Posibilita también un análisis sencillo de los datos mediante sus medidas de posición o parámetros de centralización (media, mediana, moda, cuartiles), sus medidas de dispersión o parámetros de

dispersión (varianza, desviación típica) y sus medidas de forma (curtosis, coeficiente de asimetría). Los parámetros, que se han utilizado en el análisis realizado durante este TFG son los siguientes:

- Media. Se define como la suma de todos los valores del conjunto de datos dividida entre el número total de datos del conjunto. Este parámetro único da una idea del valor representativo del conjunto de datos lo que permite una rápida interpretación de este conjunto;
- Mediana. Es el valor del conjunto de datos que divide la muestra a la mitad dejando a cada lado el 50% de la muestra.
- Moda. Se define como el valor que tiene mayor frecuencia absoluta, es decir el que mas veces se repite.
- Cuartiles. Son los 3 valores que dividen al conjunto de datos en 4 partes iguales, 4 intervalos dentro de cada cual está incluido el 25% de los datos. El primer cuartil será el 25%, el segundo el 50% y el tercero será el 75%. El segundo cuartil coincide con la mediana.
- Rango intercuartílico (IQR). Es el resultado de restar el tercer cuartil menos el primero, da una medida de la dispersión de los datos bajo estudio, pues indica el rango del 50% central de la muestra.
- Varianza. Consiste en la media de las diferencias de cada valor con la media elevadas al cuadrado.
- Desviación típica. Es la raíz cuadrada de la varianza, al estar en las mismas unidades que los datos del conjunto proporciona a simple vista una idea de cuán alejados de la media están los valores del conjunto.
- Coeficiente de asimetría. Proporciona una medida de la simetría de un conjunto, permitiendo el análisis de la sobrecarga hacia un lado u otro de la muestra.
- Curtosis. Es una medida que indica el grado de concentración de los valores con respecto a la zona central de frecuencias. Indica qué proporción de la varianza se puede explicar por la existencia de datos muy alejados de la media combinado con datos muy cercanos a ella. Mayor curtosis indica mayor concentración de los datos cercanos a la media a la vez que una gran frecuencia de datos muy alejados de la misma.

3.3.2 Diagramas de caja y bigotes o *box and whisker plots*

En el proceso de analizar una serie de datos, la manera más sencilla e intuitiva de hacerlo es visualmente. Los *box and whisker plots* o diagramas de caja y bigotes son una de las herramientas de la estadística descriptiva que de manera eficiente muestran los datos proporcionando una idea general sobre la simetría del conjunto de datos que se está analizando.

Para la construcción de las cajas, se utilizan los valores de la mediana y del rango intercuartílico. La altura de la caja coincide con el IQR y se dibuja de manera que el valor inferior coincida con el primer cuartil y el valor superior coincida con el tercer cuartil. A la altura del valor de la mediana se representará una línea horizontal. Los bigotes, son una línea vertical acabada en una pequeña línea horizontal que representan los valores máximo y mínimo que se considerarán como no atípico (el superior será igual a $Q_3 + IQR * 1,5$; mientras que el inferior será igual al $Q_1 - 1,5 * IQR$). En el caso de que exista algún valor por fuera de los bigotes, se considerará un valor atípico, también conocido como outlier y se deberá estudiar el motivo de este valor.

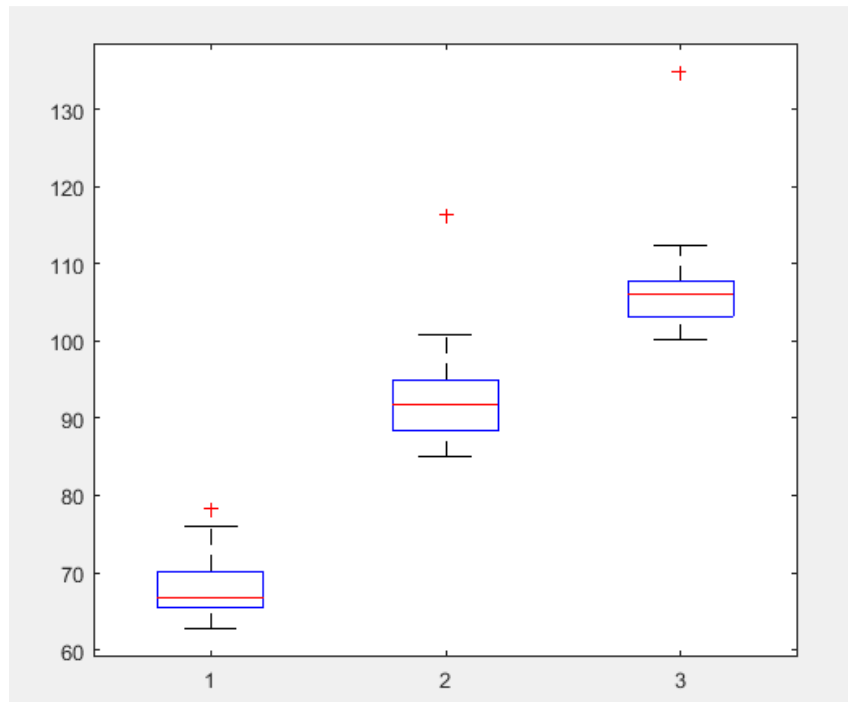


Figura 3-19 Diagrama de caja y bigotes de los tiempos (en segundos) de evacuación de las tres cubiertas para el Caso 1 utilizando parámetros de velocidad la OMI

En la figura anterior, las cajas están representadas por un rectángulo azul, la línea horizontal roja representa la mediana, los bigotes son las líneas negras y los outliers o valores atípicos son las cruces rojas.

Como se puede ver en la Figura 3-19 Diagrama de caja y bigotes de los tiempos (en segundos) de evacuación de las tres cubiertas para el Caso 1 utilizando parámetros de velocidad la OMI los diagramas de cajas y bigotes proporcionan a primera vista una idea de cómo de simétricos son los conjuntos de datos que se están estudiando y a la vez nos permiten comparar diferentes grupos de datos entre sí. Con un simple vistazo a la imagen se puede concluir fácilmente que:

- El conjunto de valores recogido en el boxplot 1 es menor que el del boxplot 2 y este a su vez es menor que el del boxplot 3.
- La longitud de los bigotes es otro indicador de la dispersión; en el boxplot 1, el bigote inferior es más corto que el superior lo que indica que el 50% de los tiempos inferiores presenta un rango menor que el 50% de los tiempos superiores.
- En cuanto a los outliers; en los tres boxplots se visualiza fácilmente que existe un valor atípico de tiempo, gracias a este diagrama combinado de diferentes cubiertas podemos observar que el valor atípico en el boxplot 1 es más próximo a la muestra que el del boxplot 3.

La construcción de estos diagramas ha sido realizada apoyándose en el software Matlab R2015a.

3.3.3 Test de Distribución

Una vez obtenidos los resultados y con el fin de poder hacer afirmaciones con carácter general acerca de la población de los tiempos de evacuación de las personas en una situación de abandono de buque y no sólo afirmaciones específicas de los casos de estudio de la muestra obtenida (tiempo de evacuación durante las simulaciones realizadas), interesa realizar una serie de contrastes de hipótesis o test de distribución.

El objetivo de estas pruebas es comprobar si los tiempos de evacuación calculados se ajustan a alguna distribución estadística con propiedades conocidas. Esto es importante ya que si el resultado del

test es positivo (no se puede rechazar la hipótesis) se podrá trasladar las propiedades conocidas de la muestra a la población de los tiempos de evacuación con carácter general.

Existen varios test distintos como son; el test de Kolmogorov-Smirnov, el test de Lilliefors, el test de Anderson-Darling, etc. En el presente trabajo se ha utilizado el test de Anderson-Darling y se ha implementado en el software Matlab R2015a.

El test de Anderson-Darling es comúnmente utilizado para comprobar si una serie de datos sigue una distribución normal, sin embargo se puede aplicar para otras distribuciones. Aún cuando no se conozcan los parámetros de la distribución cuya semejanza con los datos se quiere comprobar, el test estima los parámetros desconocidos a partir de los datos que se están estudiando. Las distribuciones que se pueden comparar con este test son: normal, exponencial, valor extremo, log-normal y weibull [22].

En el caso particular objeto del estudio en este TFG, es importante analizar si la muestra se puede ajustar a una distribución tipo log-normal y weibull ya que al no ser simétricas y presentar asimetría positiva, la concentración de datos se presenta a la “izquierda” de la distribución tal y como dicta la lógica ya que son los tiempos de evacuación de un buque de guerra donde el personal está altamente adiestrado para la evacuación.

Para llevar a cabo el test con el programa Matlab se utilizó el comando “adtest”. Este comando utiliza el test de Anderson-Darling para proporcionar una conclusión acerca de la hipótesis nula de ajuste de los datos a una distribución conocida. Esta decisión se le muestra al usuario en forma de dos valores (H y P).

- H es una variable binaria (puede tomar valor 1 ó 0) que indica si el test ha rechazado ($H=1$) o no ($H=0$) la hipótesis nula de pertenencia de los datos a un conjunto de valores que sigue una distribución con una confianza del 95%.
- El p-valor se conoce también como significancia, toma valores entre 0 y 1. El test aceptará la hipótesis nula (al 95%) si el p-valor es menor que 0,05.

4 RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos tras las simulaciones realizadas con el software Pathfinder explicado en el apartado 2.3.5, y los datos extraídos y analizados con los software Microsoft Excel y Matlab.

4.1 Simulación de Evacuación

En este apartado se presentarán por separado los resultados obtenidos en los dos grupos distintos de simulaciones realizadas.

4.1.1 Simulaciones con Parámetros Armada

Se ha realizado la simulación de los cuatro casos diferentes explicados en el apartado 3.2.1, para cada caso se presentarán los resultados obtenidos por separado atendiendo a las colas que se producen, a las rutas seguidas y al tiempo de evacuación.

4.1.1.1 Caso 1

Las imágenes a continuación muestran las colas en las diferentes cubiertas durante los diferentes instantes del proceso de evacuación. El color rojo presente en estas imágenes hace referencia a puertas cerradas por las que los ocupantes no pueden pasar.

Como se aprecia en las fotos y como se esperaba, al inicio las colas se producen en las zonas de los pasillos cercanas a las escaleras y en las escaleras en sí. La escala de colores muestra que en ningún caso se produce congestión ya que en ningún punto alcanza valores altos, no sobrepasa el nivel D.

No se incluye imagen de la cubierta de aprovisionamiento puesto que no hay ningún ocupante y carece de sentido hablar de colas.

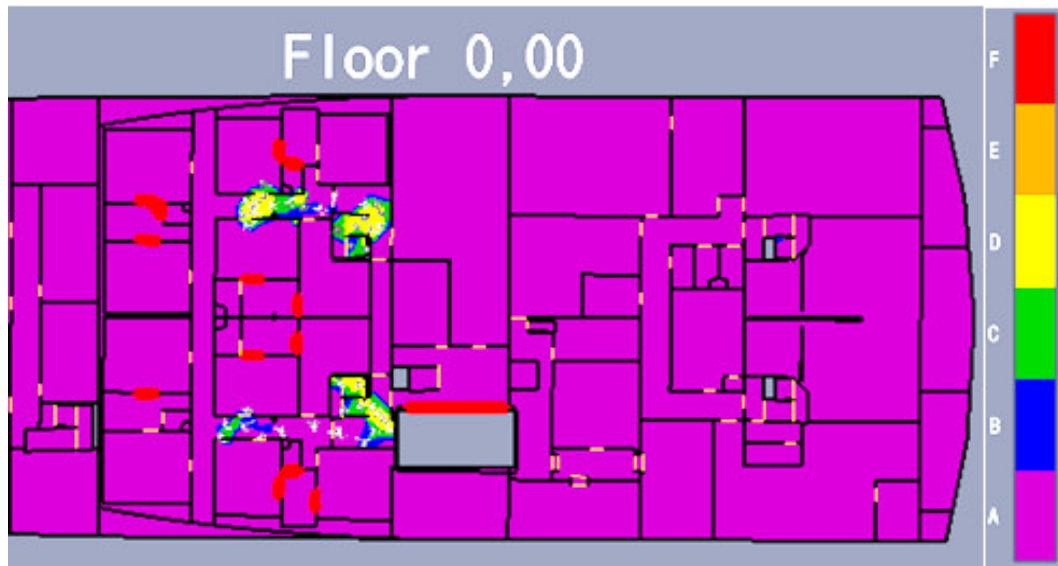


Figura 4-1 Colas en la Cubierta 2 al inicio

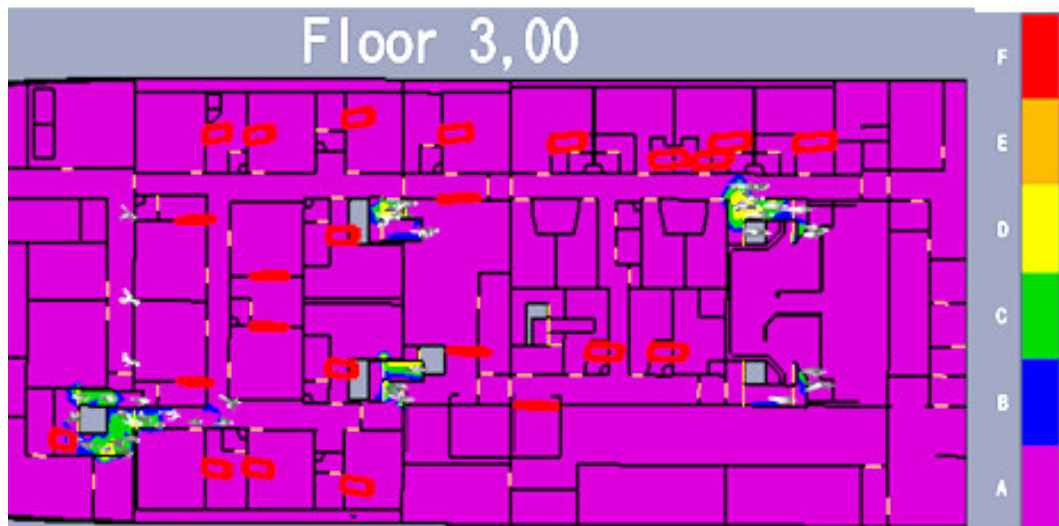


Figura 4-2 Colas en la Cubierta Principal al inicio

Las imágenes a continuación muestran las colas que aparecen en los instantes finales de la evacuación, como se aprecia en las imágenes estas disminuyen a medida que los ocupantes abandonan el buque. En la cubierta principal se puede ver ciertos puntos calientes en las escaleras mientras que en la cubierta principal no se aprecia ninguno. No se adjunta imagen de la Cubierta 2 ya que no queda ningún ocupante y no tiene sentido.

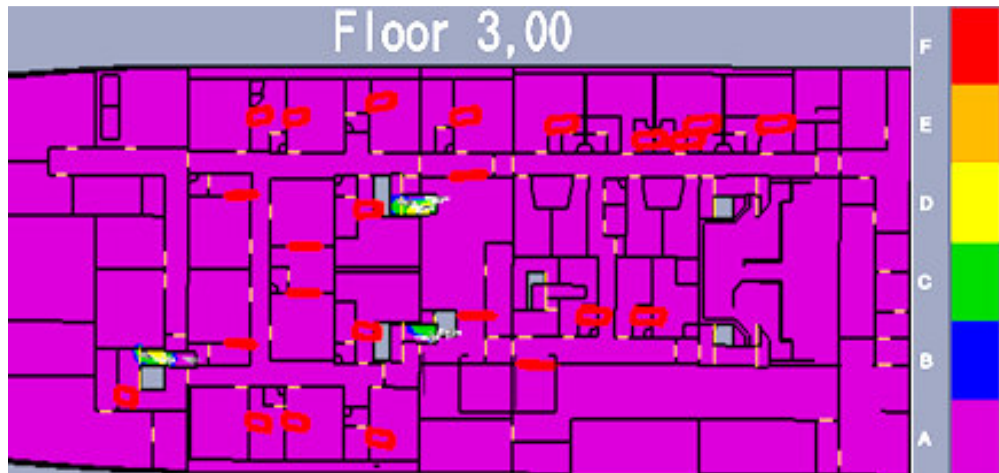


Figura 4-3 Colas en la Cubierta Principal al final

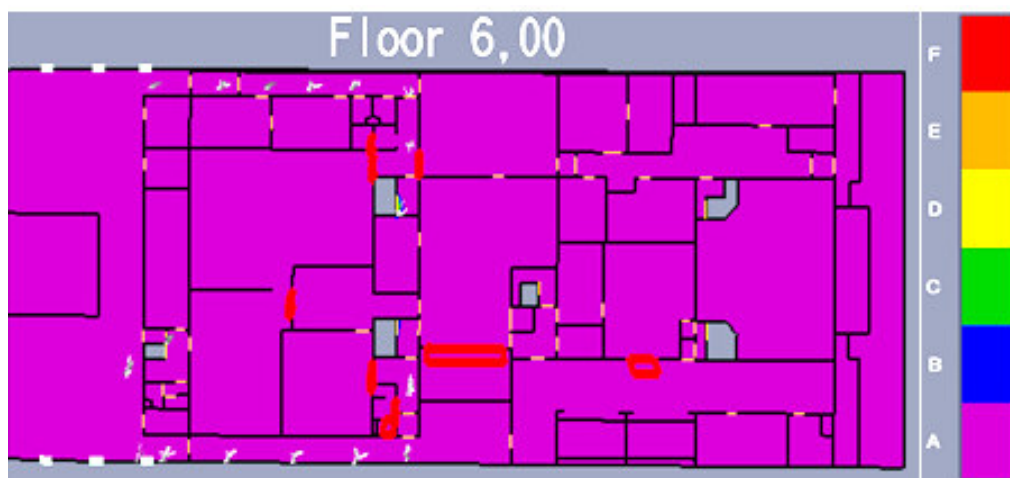


Figura 4-4 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al final

A continuación se muestran unas imágenes que permiten intuir fácilmente cuáles han sido las rutas seguidas por los ocupantes, igual que para el caso de la congestión las partes rojas hacen referencia a puertas cerradas.

Se muestran para cada cubierta sin hacer referencia a los instantes de la evacuación ya que no tiene sentido en este caso. Se aprecia claramente como los ocupantes abandonan su estancia y se dirigen por los pasillos hacia las escaleras con el objetivo de ascender por ellas hasta llegar a la cubierta principal.

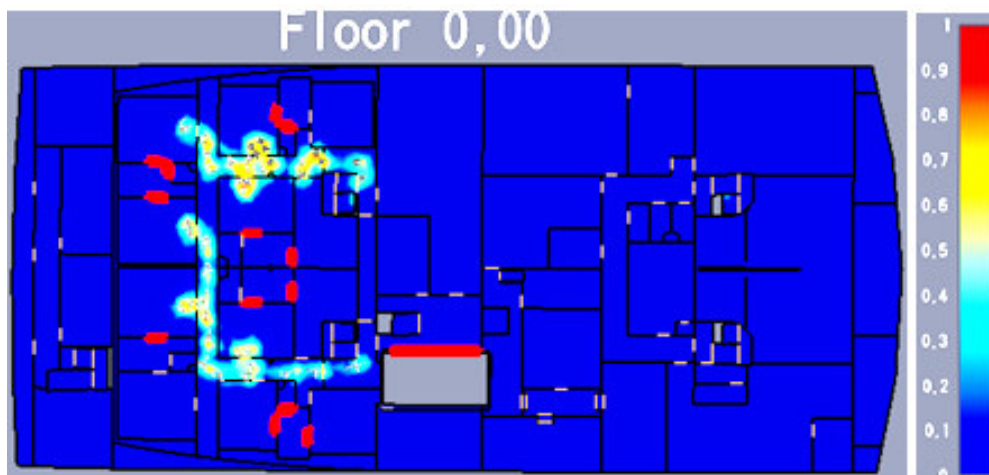


Figura 4-5 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta 2

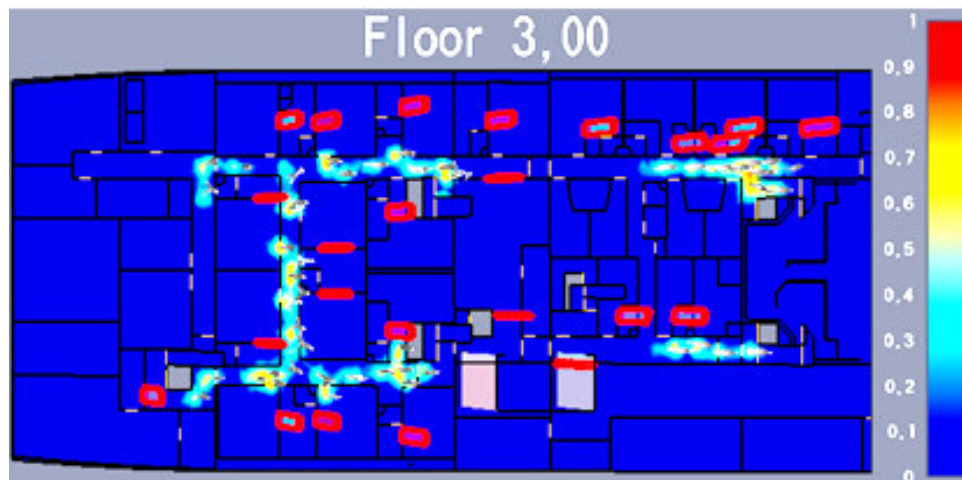


Figura 4-6 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal

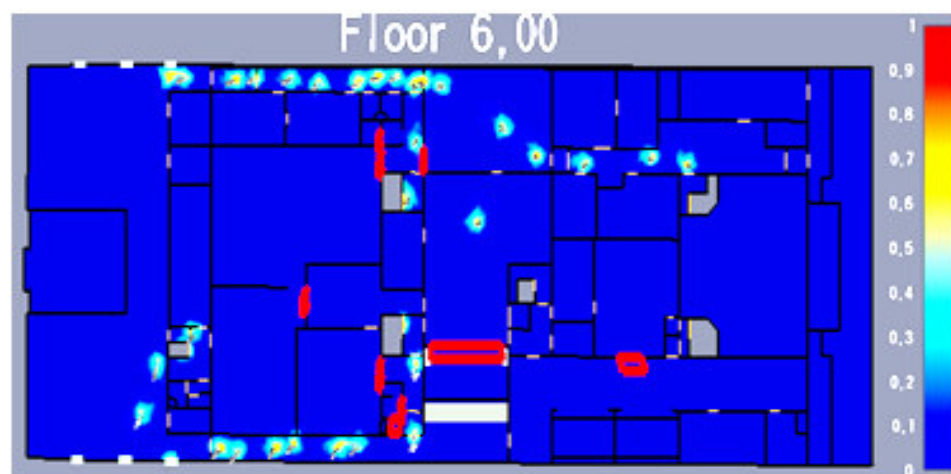


Figura 4-7 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento

El tiempo hallado mediante las simulaciones realizadas es de 135,5 s, a este tiempo hay que añadirle lo estipulado en el apartado 3.2.4 y se convierte en 1335,5 segundos, o lo que es igual 22 minutos 15 segundos desde que se da la orden de abandonar el buque.

4.1.1.2 Caso 2

Las imágenes a continuación muestran las colas que se producen en las diferentes cubiertas durante los diferentes instantes del proceso de evacuación. El color rojo presente en estas imágenes hace referencia a puertas cerradas por las que los ocupantes no pueden pasar.

Como se puede apreciar, la entidad de las colas al inicio en la cubierta 2 es muy similar con respecto al Caso 1 ya que no hay variación con respecto al número de ocupantes ni su situación, sin embargo en la cubierta principal esta disminuye puesto que hay menor número de ocupantes. En este caso sí que se incluye imagen de la cubierta de aprovisionamiento ya que por el día sí que hay ocupantes, en esta cubierta las colas están localizadas principalmente en puertas que dan a pasillos que son parte de las rutas de evacuación.

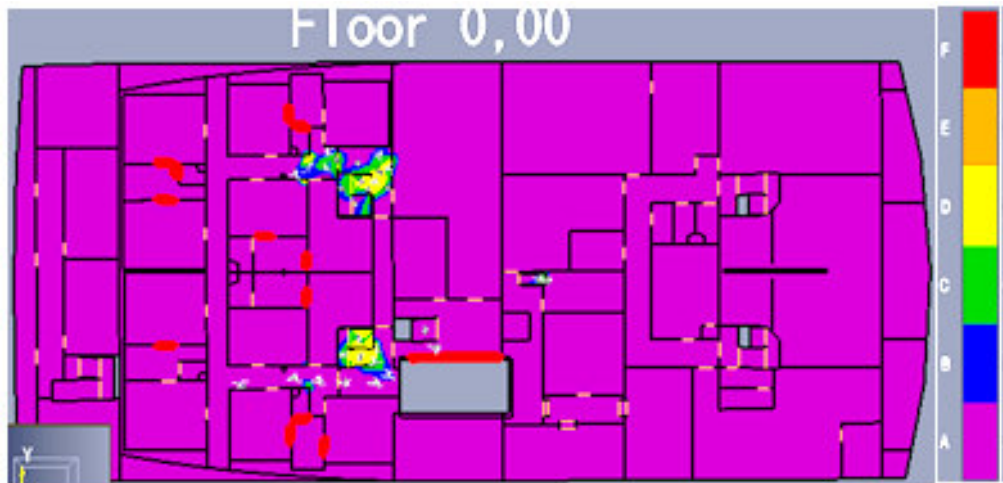


Figura 4-8 Colas en la Cubierta 2 al inicio



Figura 4-9 Colas en la Cubierta Principal al inicio

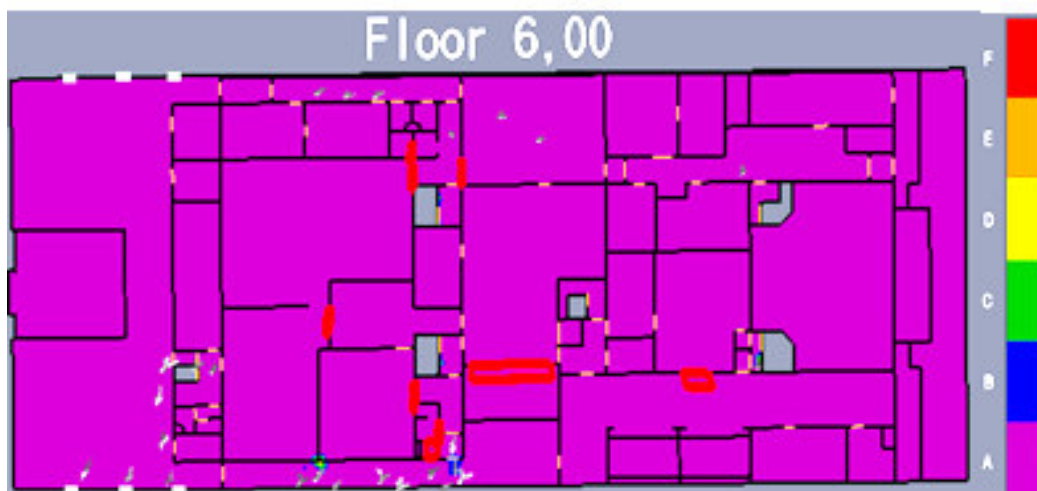


Figura 4-10 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al inicio

En cuanto a los instantes finales se pueden apreciar leves colas como en el caso 1, concentrándose estas en escaleras y puertas. Se ve que en los instantes finales están localizadas en la cubierta principal y la cubierta principal ya que en la cubierta inferior no hay ocupantes.

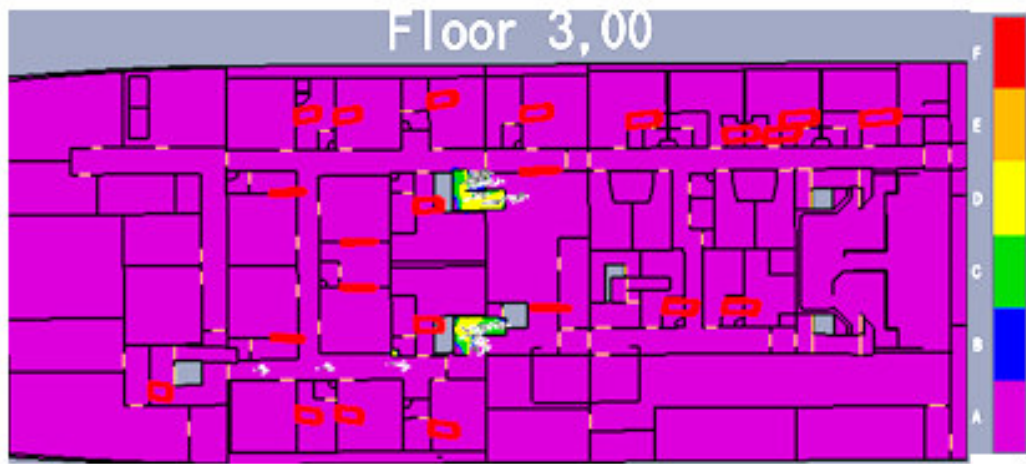


Figura 4-11 Colas en la Cubierta Principal al final

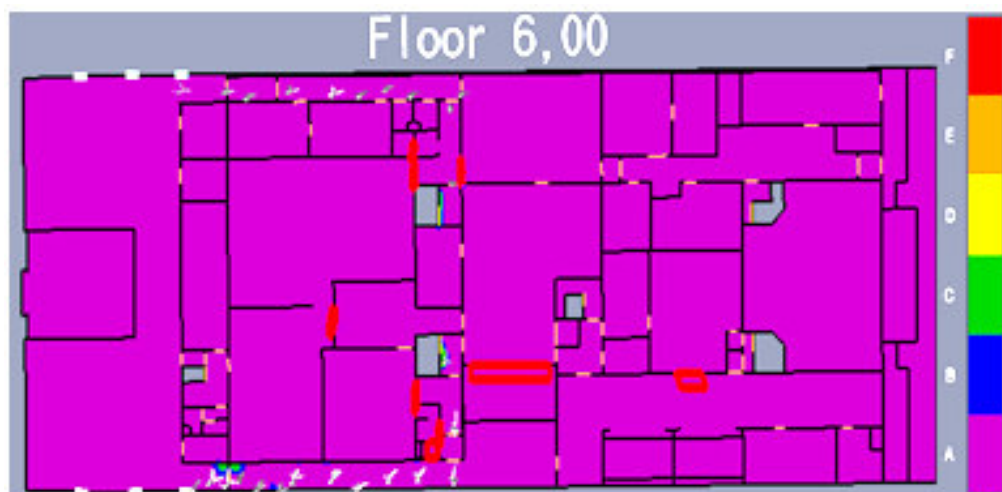


Figura 4-12 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al final

A continuación se muestran unas imágenes que permiten intuir fácilmente cuales han sido las rutas seguidas por los ocupantes, igual que para el caso de la congestión las partes rojas hacen referencia a puertas cerradas.

Se aprecia que las rutas varían poco con respecto al caso 1 ya que los ocupantes utilizan las vías principales de evacuación.

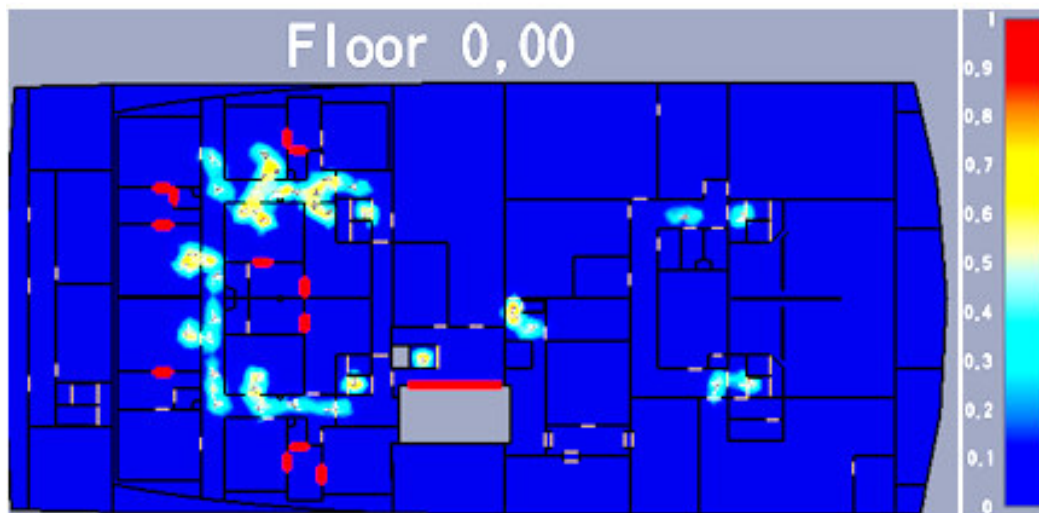


Figura 4-13 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta 2

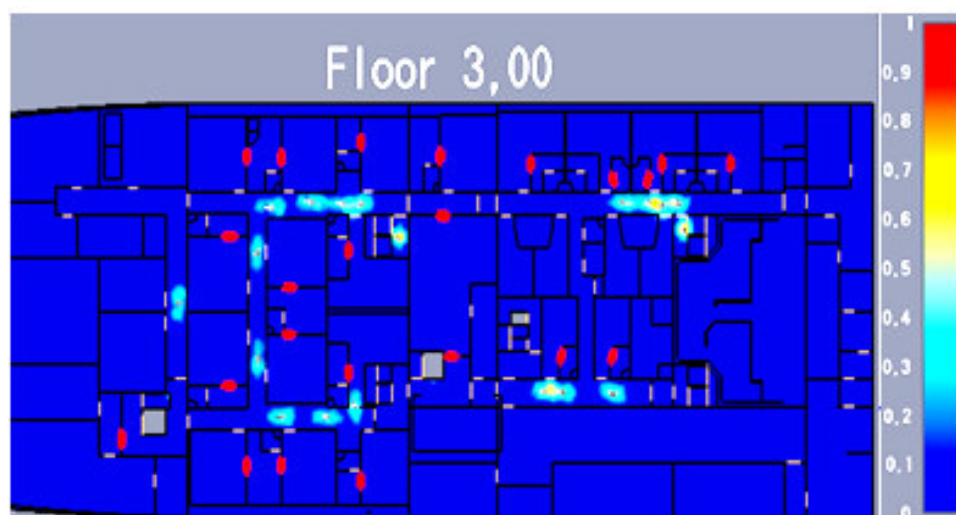


Figura 4-14 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal

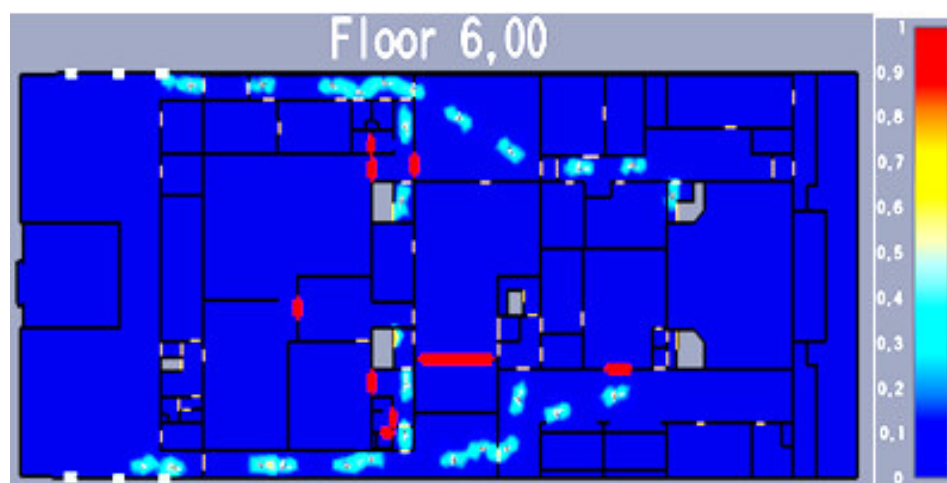


Figura 4-15 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento

El tiempo hallado con las simulaciones es de 66,7 s, al sumársele los tiempos descritos en el apartado 3.2.4 se convierte en 1116,7 s que en minutos es un total de 18 minutos y 36 segundos.

4.1.1.3 Caso 3

Igual que en los casos anteriores, se presentan a continuación las imágenes que muestran las colas en las distintas fases de la evacuación. Dado que en este caso se considera que una de las zonas verticales principales está inhabilitada, se espera que estas aumenten pudiendo aparecer cierta congestión en las zonas verticales adyacentes. Las puertas cerradas están marcadas en rojo.

Confirmando lo esperado, las colas aumentan considerablemente en las zonas verticales adyacentes a la deshabilitada, esto tiene sentido ya que los ocupantes que deberían evacuar por la zona vertical deshabilitada se ven obligados a acudir a otra, por lo que acuden a la más cercana que si esté disponible.

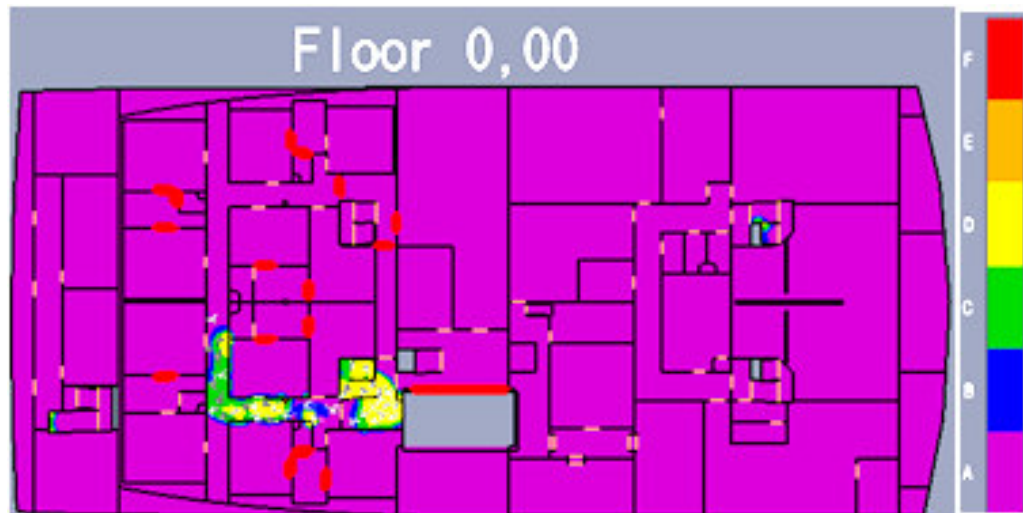


Figura 4-16 Colas en Cubierta 2 al inicio



Figura 4-17 Colas Cubierta Principal al inicio

En cuanto a la fase final de la evacuación, lo esperado es que existan colas en las escaleras que han visto aumentado su número de usuarios debido a la zona vertical deshabilitada. Las siguientes imágenes muestran que se cumple lo esperado, apareciendo colas de mayor entidad que hasta ahora pudiéndose hablar de congestión (color naranja) tanto en la cubierta principal como en la cubierta de aprovisionamiento.



Figura 4-18 Colas en la Cubierta Principal al final

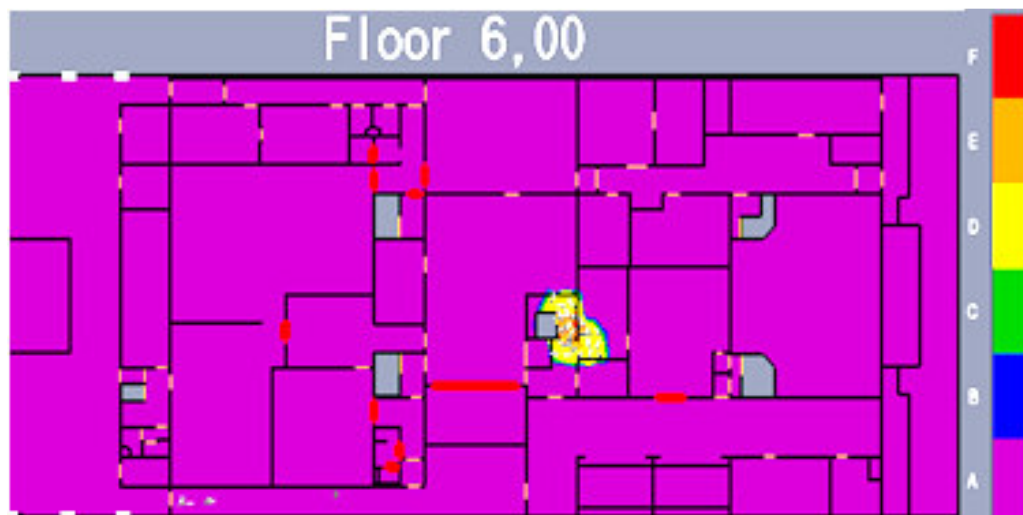


Figura 4-19 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al final

En lo relativo a las rutas de evacuación se ve claramente el impacto de la zona vertical deshabilitada en las mismas, la zona vertical usada por los ocupantes de babor a popa en las cubiertas 2 y principal no está disponible por lo que acuden a la zona de estribor. Las puertas cerradas están señaladas en rojo.

En las imágenes se aprecia que los ocupantes en las cubiertas 2 y principal buscan alternativas a su zona vertical habitual, lo que causa la congestión señalada anteriormente en este mismo apartado.

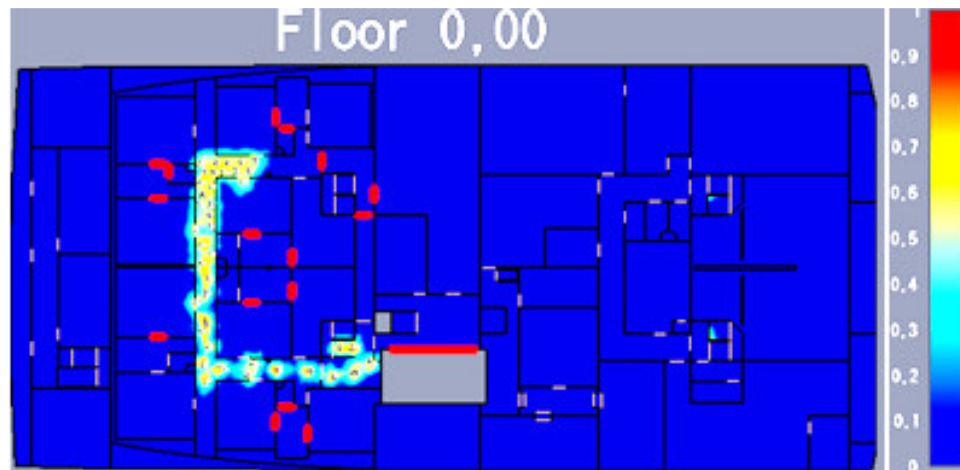


Figura 4-20 Rutas seguida por los ocupantes en la Cubierta 2

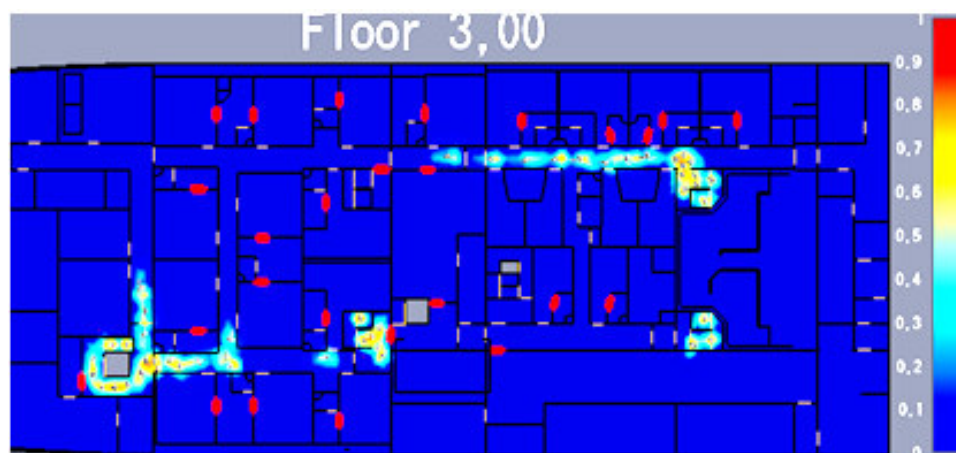


Figura 4-21 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal

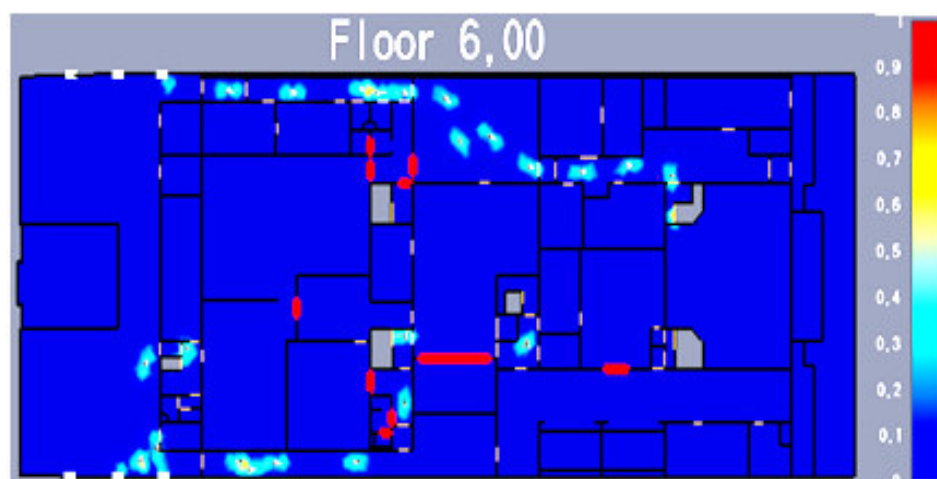


Figura 4-22 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento

En cuanto al tiempo de evacuación, el calculado por el programa es 728,8 segundos, al sumarle los tiempos señalados en el apartado 3.2.4 se convierte en 1528,8 segundos que son 25 minutos y 29 segundos. El significativo aumento del tiempo de evacuación se debe a la zona vertical deshabilitada, y a la congestión producida por este hecho.

4.1.1.4 Caso 4

En las imágenes a continuación se presentan las colas que aparecen en las distintas cubiertas durante el proceso de evacuación, en este caso se encuentra deshabilitada la zona vertical principal de estribor, lo que se espera provoque la posible aparición de congestión en las zonas verticales adyacentes. Las puertas cerradas están señaladas en rojo.

Como se aprecia, al inicio de la evacuación, en la zona vertical de babor a popa en la cubierta 2 aumentan las colas con respecto al Caso 2 debido al flujo de ocupantes que en dicho caso utilizan la zona vertical de estribor, deshabilitada en este caso. En cuanto a la cubierta principal la aglomeración de ocupantes se localiza en la misma zona vertical que en la cubierta 2, y también aumenta considerablemente con respecto al caso 2. En la cubierta de aprovisionamiento no se aprecian apenas colas o congestión.

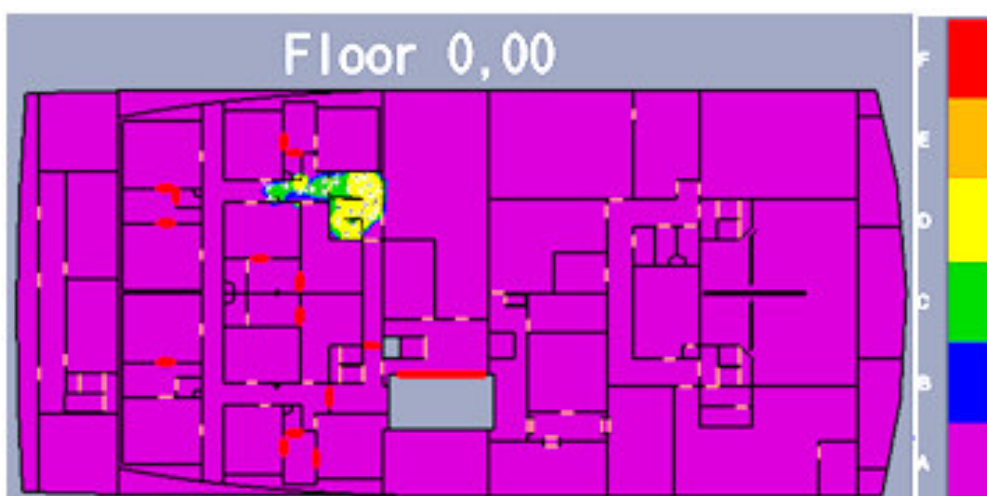


Figura 4-23 Colas en la Cubierta 2 al inicio



Figura 4-24 Colas en la Cubierta Principal al inicio

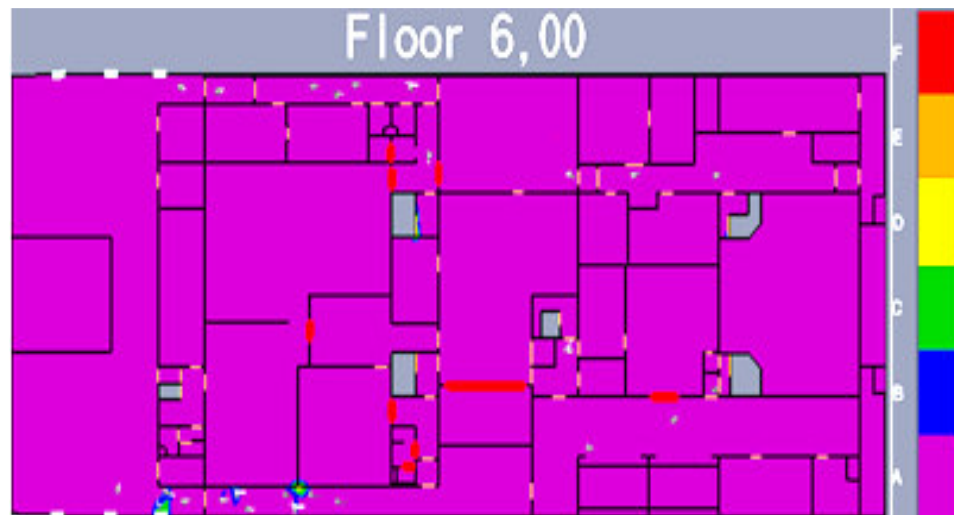


Figura 4-25 Colas en la Cubierta de Aprovisionamiento al inicio

En la fase final de evacuación las colas se focalizan en los mismos puntos que al inicio sin llegar a niveles de congestión.

En lo referente a las rutas de evacuación, estas se verán modificadas en las cubiertas 2 y principal debido a la zona vertical que se encuentra deshabilitada en este caso, en la cubierta de aprovisionamiento serán las mismas que para el resto de los casos.

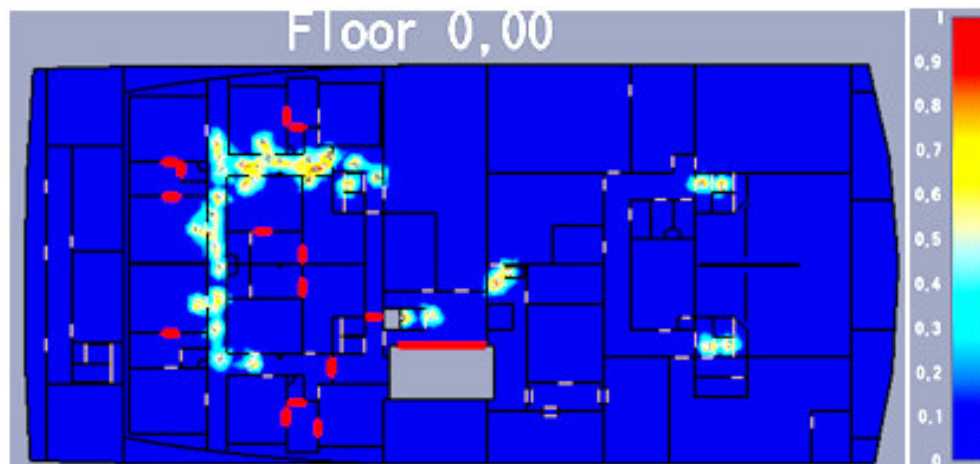


Figura 4-26 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta 2

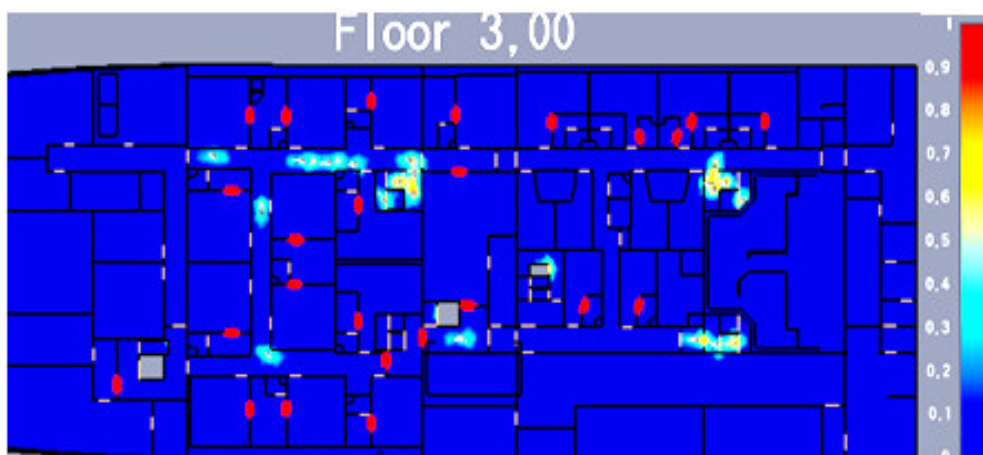


Figura 4-27 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta Principal

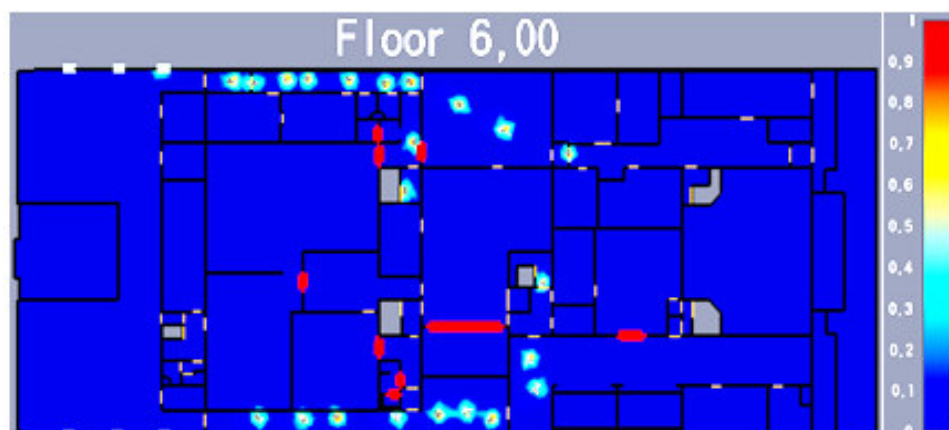


Figura 4-28 Ruta seguida por los ocupantes en la Cubierta de Aprovisionamiento

En cuanto al tiempo de evacuación, el calculado por el programa es 96,6 segundos, si incluimos los tiempos especificados en el apartado 3.2.4 el tiempo total es de 746,6 segundos que equivale a 12 minutos 26 segundos. El tiempo aumenta con respecto al caso 2 debido a la zona vertical deshabilitada.

4.1.2 Simulaciones con Parámetros OMI

En este grupo de simulaciones no tiene sentido hablar de ni de rutas usadas ni de colas otra vez ya que al haber cambiado sólo el parámetro de velocidad, sólo deberían observarse variaciones en el tiempo de evacuación. Las rutas serán las mismas y al haber modificado la velocidad a toda la población de la misma manera las colas generadas serán las mismas.

Los parámetros que establece la Organización Marítima Internacional suponen una visión más pesimista acerca de la velocidad de los tripulantes por lo que los tiempos en este apartado serán mayores que en las simulaciones anteriores.

- Caso 1. El tiempo calculado por el programa es 134,9 segundos, al añadirle los tiempos especificados en el apartado 3.2.4 se convierte en 1334,9 segundos que equivale a 22 minutos 15 segundos desde que se da la orden de abandonar el buque.
- Caso 2. El tiempo proporcionado por las simulaciones es 97,1 segundos, a esto es necesario añadirle los tiempos especificados en el apartado 3.2.4 se convierte en 1147,1 segundos, o lo que es lo mismo 19 minutos 7 segundos durará el proceso de evacuación.
- Caso 3. El tiempo obtenido tras las simulaciones es de 644,6 segundos, que se convierte en 1444,6 segundos al añadirle los tiempos descritos en el apartado 3.2.4. Esto equivale a 24 minutos y 48 segundos desde que se da la orden de abandonar el barco.
- Caso 4 El tiempo calculado por el programa es de 126,6 segundos que se convierten en 776,6 segundos que equivalen a 12 minutos y 56 segundos desde que se da la orden de abandono de buque.

4.2 Análisis Estadístico de Datos

En este apartado se realiza un estudio de los datos obtenidos tras las simulaciones con el fin de entender mejor los tiempos de evacuación obtenidos.

4.2.1 Análisis Descriptivo

Se dividirá el análisis en los dos grupos de simulaciones realizados, simulaciones con parámetros Armada y simulaciones con parámetros OMI.

4.2.1.1 Simulaciones con parámetros Armada

Como se puede ver en los datos recogidos en la Tabla 4-1, hay una clara diferencia entre los datos de los casos 1 y 3 (nocturnos) y los casos 2 y 4 (diurnos).

Con un simple vistazo a las desviaciones estándar se puede apreciar lo representativa que es la media del conjunto de datos y corroborar la afirmación anterior. Dado que es bastante mayor para los casos 1 y 3 se puede afirmar que es menos representativa que para los casos 2 y 4 (siendo en el caso 2 la desviación típica casi 0).

Al ser los tiempos en los casos 1 y 3 considerablemente mayores que en los casos 2 y 4 respectivamente, el error típico (que indica las variaciones producidas por factores distorsionantes tanto desconocidos como conocidos) es mayor.

El índice de curtosis más alto en los casos 1 y 3 muestra que hay una alta concentración de valores cercanos a la media pero también muchos valores muy alejados de la misma (lo que influye en la varianza y la desviación típica haciendo que estas sean menos descriptivas acerca de los datos).

En cuanto a la simetría, los coeficientes de asimetría positivos significan que en todos los casos (excepto en el caso 2) la gráfica presenta una asimetría positiva esto se traduce en que en los 3 casos hay un mayor número de valores alejados de la media hacia la derecha (es decir tiempos más altos que la media).

Esto se puede apreciar en los siguientes histogramas que recogen los datos de cada uno de los casos y los muestran en comparación con una distribución normal ajustada a los datos.

datos censurados

Figura 4-29 Histogramas caso 1 y caso 3

datos censurados

Figura 4-30 Histogramas caso 2 y caso 4

<i>Caso 1</i>	<i>Caso 2</i>	<i>Caso 3</i>	<i>Caso 4</i>
Media			
Error típico			
Mediana			
Moda			
Desviación estándar			
Varianza de la muestra			
Curtosis			
Coefficiente de asimetría			
Rango			
Mínimo			
Máximo			
Suma			
Cuenta			

datos censurados

Tabla 4-1 Datos Estadísticos de Casos Armada

4.2.1.2 Simulaciones con parámetros OMI

Tal y como muestran los datos recogidos en la Tabla 4-2 Datos Estadísticos de Casos OMI La diferencia observada en el grupo de simulaciones anterior (entre los casos 1 y 3 y los casos 2 y 4 respectivamente) se mantiene en este grupo de simulaciones. Si bien, se puede apreciar una disminución significativa de la diferencia entre los casos 1 y 2. Esto se debe a que la velocidad de los ocupantes obedece en este caso a unos parámetros más pesimistas que otorgan a las personas una velocidad de desplazamiento menor.

Esta afirmación se ve reforzada por el valor de la desviación típica, menor en todos los casos. Para el caso 1 y 3 en los que el valor de la desviación estándar aumenta deberemos fijarnos en el valor del índice de curtosis y en el rango. En el caso 1 el índice de curtosis alto muestra que en este conjunto de tiempos hay una alta concentración de datos. En el caso 3 la desviación típica tiene un valor muy alto, sin embargo si lo comparamos con el rango del conjunto de datos se suaviza el impacto de la desviación típica en la media.

En cuanto a los coeficientes de asimetría, su valor mayor que 0 nos indica que poseen una asimetría positiva, o lo que es lo mismo, la mayoría de los datos alejados de la media se encuentran por encima de esta. Esto tiene sentido si consideramos que estamos hablando de tiempos.

En los histogramas siguientes se comparan los datos obtenidos con una normal y se pueden apreciar estas características de manera más intuitiva.

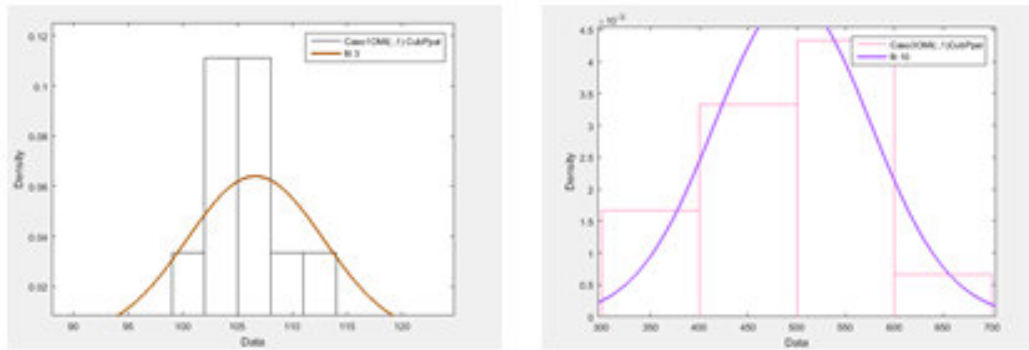


Figura 4-31 Histogramas caso 1 y caso 3

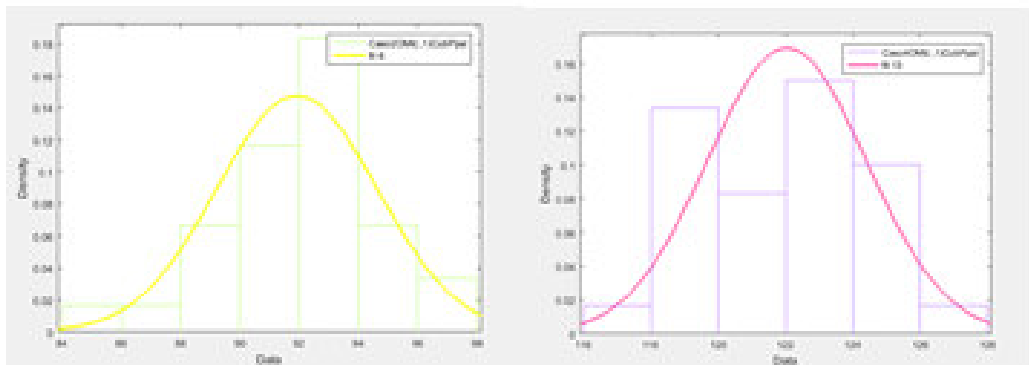


Figura 4-32 Histogramas caso 2 y caso 4

Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
Media	106,61	Media	91,93	Media	495,81	Media	122,03
Error típico	1,13	Error típico	0,49	Error típico	14,57	Error típico	0,430
Mediana	106,10	Mediana	92,05	Mediana	503,4	Mediana	122,05
Moda	103,50	Moda	93,20	Moda	#N/A	Moda	119,7
Desviación estándar	6,23	Desviación estándar	2,70	Desviación estándar	79,81	Desviación estándar	2,35
Varianza de la muestra	38,85	Varianza de la muestra	7,31	Varianza de la muestra	6370,54	Varianza de la muestra	5,56
Curtosis	14,88	Curtosis	0,68	Curtosis	-0,33	Curtosis	-0,96
Coeficiente de asimetría	3,35	Coeficiente de asimetría	-0,34	Coeficiente de asimetría	-0,47	Coeficiente de asimetría	0,14
Rango	34,7	Rango	12,3	Rango	324,3	Rango	8,8
Mínimo	100,2	Mínimo	84,8	Mínimo	320,3	Mínimo	117,8
Máximo	134,9	Máximo	97,1	Máximo	644,6	Máximo	126,6
Suma	3198,3	Suma	2757,9	Suma	14874,5	Suma	3661,1
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla 4-2 Datos Estadísticos de Casos OMI

A continuación y a modo de resumen se incluye la Tabla 4-3 Relación de tiempos entre los dos grupos de simulaciones que resume la relación de tiempos entre simulaciones OMI y simulaciones Armada, permitiendo ver de manera rápida el aumento del tiempo de evacuación que supone utilizar los

parámetros OMI a la hora de realizar las simulaciones. Para la realización de esta relación se han comparado los tiempos medios obtenidos tras realizar el conjunto de simulaciones especificado en el apartado 403.2.4 para cada uno de los casos.

Caso	1	2	3	4
Relación tiempo(s)Armada/tiempo(s) OMI	0,75	0,71	0,93	0,76

Tabla 4-3 Relación de tiempos entre los dos grupos de simulaciones

4.2.2 Diagramas de Caja y Bigotes o Box and Whiskers Plots

En este apartado se pretende realizar una comparativa de los resultados obtenidos con los dos grupos de simulaciones realizados. Los diagramas de caja y bigotes, o boxplots son una manera muy intuitiva de ver las diferencias y comparar los resultados.

En la siguiente figura, se aprecia la comparativa de los tiempos de evacuación del caso 1 entre las simulaciones con parámetros OMI y las simulaciones con parámetros Armada (el boxplot 1 corresponde a OMI y el 2 a Armada). Fácilmente se reconoce que boxplot corresponde a cada grupo de simulaciones puesto que los tiempos obtenidos utilizando los parámetros de la Armada son significativamente menores.

Esta diferencia se hace extensible al resto de casos lo que muestra que el adiestramiento de la Armada reduce significativamente la duración de un proceso de abandono de buque.

datos censurados

Figura 4-33 Comparativa mediante boxplot del Caso 1 con datos OMI [5] y datos Armada [7]

A continuación se observa en la Figura 4-34 Comparativa noche/día, que de manera gráfica enseña la gran diferencia de tiempos existente entre una evacuación nocturna y una diurna, como es lógico que por la noche la zona de habilitación de un buque es cuando está más llena de gente, esto ralentiza seriamente el proceso de evacuación ya que es mayor la posibilidad de que se produzcan puntos de congestión.

Los outliers presentes en el caso de evacuación nocturno indican que en tres de las simulaciones realizadas, se han obtenido valores que no son representativos del conjunto de datos. Esto puede ser provocado, por la ya citada congestión que depende directamente del número de personas presentes en la zona estudiada así como por la aleatoriedad de la selección de los parámetros de entrada. La Tabla 4-4 Presencia de outliers en las simulaciones realizadas respalda esta afirmación. Como se puede ver en 3 de los 4 casos nocturnos se han obtenido valores atípicos y sin embargo solo en 1 de los 4 casos diurnos se han obtenido outliers. En el Anexo IV se incluyen los boxplots realizados utilizando los datos obtenidos a partir de las distintas simulaciones en los que se comparan los tiempos por cubierta para un mismo caso.

Así, tanto la diferencia de tiempos como la presencia de outliers indican que son los casos nocturnos los que entrañan mayor riesgo para las personas implicadas en la evacuación de un buque y por lo tanto los que requieren un mejor adiestramiento.

datos censurados

Figura 4-34 Comparativa noche/día para el caso 1 con parámetros Armada

	Outliers	
	Armada	OMI
Caso 1	Si	Si
Caso 2	No	Si
Caso 3	Si	No
Caso 4	No	No

Tabla 4-4 Presencia de outliers en las simulaciones realizadas

4.2.3 Test de Distribución

En este apartado se determina el posible ajuste entre las muestras de tiempos obtenidos con las simulaciones realizadas y distintas distribuciones conocidas, en concreto la distribución Normal, la distribución de Valor Extremo, la distribución Log-Normal y la distribución Weibull.

El parámetro que nos permitirá decidir si es semejante a una de las distribuciones o no, es el p-valor. Cuando se realiza la hipótesis nula de que el conjunto de datos se ajusta a la distribución se considera una confianza del 95%.

El test de Anderson-Darling realizado con Matlab nos devuelve el p-valor y el grado de rechazo de la hipótesis depende de cuán pequeño sea este en una escala de 0 a 1. Siendo el menor valor posible para rechazar la hipótesis 0,05.

En el caso de que para varias distribuciones distintas se obtenga un p-valor mayor que 0,05 se considerará más ajustada la que tenga un p-valor mayor.

A la vista de los resultados de los test presentes en la Tabla 4-5 Tabla de p-valores resultado del test de Anderson-Darling Podremos decir que:

- En ambos grupos de simulaciones el conjunto de tiempos para el caso 1 no se puede ajustar a ninguna de las distribuciones anteriores y es necesario rechazar la hipótesis nula.
- Para ambos grupos de simulaciones el conjunto de tiempos para el caso 2 se puede ajustar a una distribución Normal ya que no se puede rechazar la hipótesis nula de ajuste a una distribución.
- En el grupo de simulaciones OMI el conjunto de tiempos obtenidos para el caso 3 se puede ajustar a una distribución de Valor Extremo (Extreme Value).

- En el grupo de simulaciones Armada el conjunto de tiempos obtenidos para el caso 3 se puede ajustar a una distribución Log-Normal.
- En ambos grupos de simulaciones el conjunto de tiempos para el caso 4 se pueden ajustar a una distribución Log-Normal.
- La distribución que en mayor número de casos podría explicar los tiempos obtenidos en la simulación de la evacuación es la Log-Normal, ya que en el caso 2 Armada no se puede rechazar la hipótesis de que este conjunto de datos se ajuste a este tipo de distribución. Esto es lógico ya que, como vemos en la Figura 4-36 Caso 3 Armada/Distribución Log-Normal y la Figura 4-37 Caso 4 Armada/Distribución Log-Normal significa que la mayor parte de los tiempos de la muestra son cercanos a cero lo cual tiene sentido teniendo en cuenta que se trata de un proceso de evacuación donde lo que se pretende es realizarlo lo más rápido posible y el personal presenta un alto grado de entrenamiento (al contrario de lo que sucede en un barco de recreo).

	OMI				Armada			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
Normal	5.0000e-04	0.7022	0.1109	0.3363	5.00e-04	0.9240	0.3139	0.9809
EV	5.0000e-04	0.1894	0.5458	0.0929	5.00e-04	0.3182	5.00e-04	0.2543
Log-Normal	5.0000e-04	0.6342	0.0163	0.3475	5.00e-04	0.9214	0.8118	0.9820
Weibull	5.0000e-04	0.2590	0.4148	0.1059	5.00e-04	0.3469	0.0210	0.3036

Tabla 4-5 Tabla de p-valores resultado del test de Anderson-Darling

En las imágenes a continuación se pretende comparar de un modo gráfico cada caso con la distribución a la que, según el test Anderson-Darling se pueden ajustar.

- Caso 2 Armada/Distribución Normal:

datos censurados

Figura 4-35 Caso 2 Armada/Distribución Normal

- Caso 3 Armada/ Distribución Log-Normal
-

datos censurados

Figura 4-36 Caso 3 Armada/Distribución Log-Normal

- Caso 4 Armada/Distribución Log-Normal

datos censurados

Figura 4-37 Caso 4 Armada/Distribución Log-Normal

- Caso 2 OMI/Distribución Normal

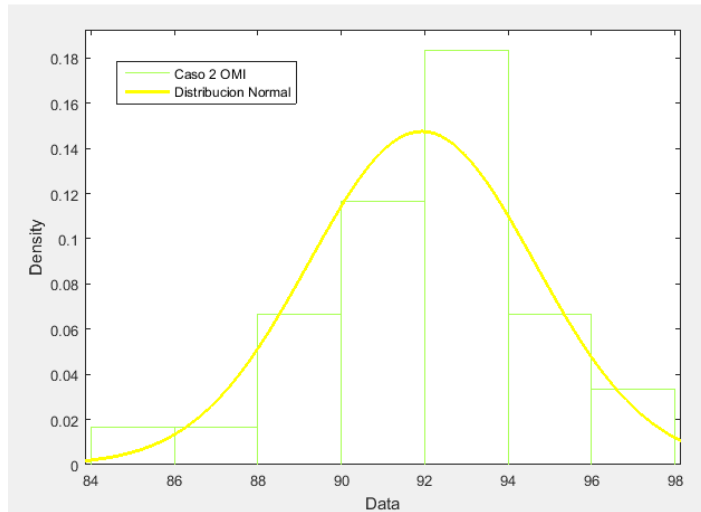


Figura 4-38 Caso 2 OMI/Distribución Normal

- Caso 3 OMI/Distribución de Valor Extremo

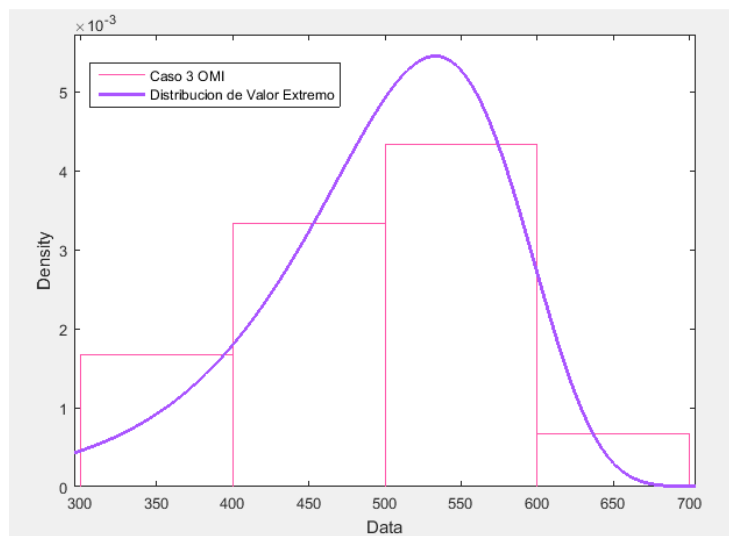


Figura 4-39 Caso3 OMI/Distribución de Valor Extremo

- Caso 4 OMI/Distribución Log-Normal

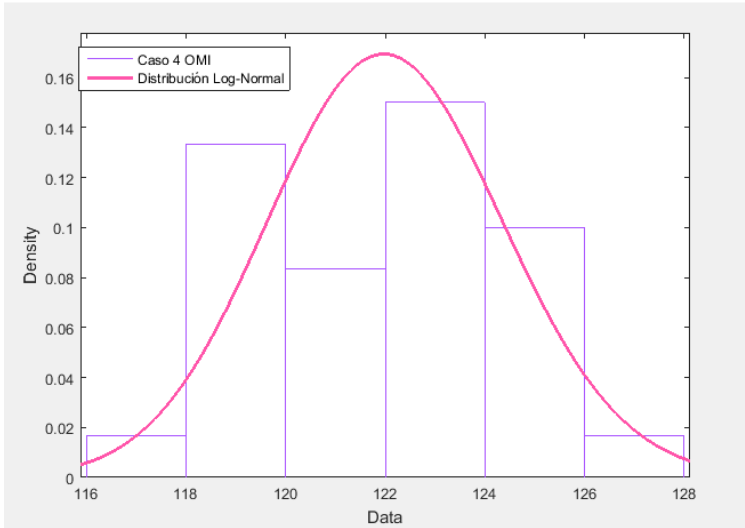


Figura 4-40 Caso 4 OMI/Distribución Log-Normal

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Tras haber realizado el estudio del proceso de evacuación de la zona de habilitación del Buque de Aprovisionamiento para el Combate Cantabria, se ha comprobado la complejidad presente a la hora de realizar una simulación que de manera realista refleje el comportamiento de las personas durante una situación de emergencia como es el abandono de un buque.

Durante el presente Trabajo de Fin de Grado se ha pretendido analizar de la forma más exhaustiva posible el marco normativo vigente, esto unido a la revisión de trabajos ya existentes ha permitido entender mejor el contexto en el que se encuentra actualmente la evacuación de un buque de guerra.

Por otro lado, los resultados de los simulacros de evacuación previamente realizados en buques de la Armada Española han hecho posible llevar a cabo una comparativa entre la información existente actualmente sobre el comportamiento de dotaciones y pasajeros de barcos civiles y dichos resultados provenientes de la experiencia en unidades militares.

Gracias al software de simulación avanzado del movimiento de personas Pathfinder, se ha podido modelar de manera fiel la disposición general de la zona de habilitación del BAC Cantabria e incluir en dicho modelo ocupantes virtuales que representen lo más exactamente posible la dotación correspondiente a dicha zona del buque.

El conjunto de simulaciones realizadas ha sido tratado mediante técnicas estadísticas clásicas apoyándose en los software Microsoft Office Excel y Matlab R2015a, para poder extraer los resultados más relevantes de cara a la comparación de resultados de este trabajo.

Teniendo en cuenta por un lado la normativa vigente y por otro los resultados de los simulacros llevados a cabo en buques de la Armada se han realizado dos grupos de simulaciones del proceso de evacuación de dicho buque.

Estos grupos de simulaciones, han proporcionado una serie de resultados cuyo estudio ha puesto de manifiesto las grandes diferencias existentes entre los parámetros que establecen las normas de la Organización Marítima Internacional y los datos obtenidos a partir de las pruebas realizadas a bordo de unidades de la Armada Española.

La razón principal de que los resultados sean distintos es la contraste que existe entre los conjuntos de personas que están presentes en los distintos tipos de buques. Mientras que a bordo de un buque de pasajeros se encuentra un grupo muy diversificado de seres humanos sin práctica en simulacros de evacuación y con una condición física muy variable, incluyendo a veces personas con movilidad reducida(a excepción de la dotación, que son un grupo reducido en comparación con los pasajeros), en

un buque de guerra de la Armada Española se encuentra a bordo un grupo homogéneo de hombres y mujeres cuyo nivel de adiestramiento les permite conocer las medidas a tomar y de esta manera reaccionar rápidamente con determinación y disciplina en caso de una situación de las mismas características.

5.2 Líneas futuras

A lo largo de la realización del presente Trabajo de Fin de Grado han surgido una serie de líneas futuras que se exponen a continuación:

- Construir el modelado y posterior análisis del BAC Cantabria en su totalidad: esto permitirá incluir en la simulación a la totalidad de la dotación lo que proporcionará unos resultados más precisos que permitirán detectar fallos en el procedimiento de evacuación de dicho buque e implementar medidas que los solucionen de manera que alcance el mayor grado de eficacia posible.
- Llevar a cabo una simulación integrando condiciones de incendio gracias a software como Pyrosim (de la misma empresa que comercializa Pathfinder) o FDS+Evac: Fire Dynamic Simulator + Evac del NIST que incluyen las interacciones entre las condiciones de fuego, humo, tiempos de reacción y velocidades de evacuación y ser humano durante una situación de emergencia. Mediante el análisis de esta nueva simulación y el presente TFG se podría conocer la manera en que la presencia de fuego afecta al proceso de evacuación.
- Analizar el proceso de evacuación de las diferentes unidades de la Armada incluyendo unidades anfibas con el personal que no forma parte de la dotación del buque. De este modo, se podrán observar los posibles fallos existentes en los procedimientos actuales, subsanarlos y mejorarlos en la medida de lo posible.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. M. O. «www.imo.org,» [En línea]. Available: [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx). [Último acceso: 17 Febrero 2017].
- [2] IMO, Circ. 1033 Guidelines for Evacuation analysis for new and existing passenger ships, Londres, 2002.
- [3] J. Hinkle y T. G. Glover, «Storming Media,» 2004. [En línea]. Available: <http://www.stormingmedia.us/61/6112/A611224.html>. [Último acceso: 2 Enero 2005].
- [4] R. Lazinsky, «Navy League of the United States.,» 2005. [En línea]. Available: http://www.navyleague.org/seapower/evolution_of_a_revolution.htm. [Último acceso: 23 Julio 2005].
- [5] IMO, Circ. 1238 Guidelines for Evacuation analysis for new and existing passenger ships, 2007.
- [6] United States Coast Guard, «United States Coast Guard,» [En línea]. Available: <http://www.uscg.mil/hq/g-m/nmc/evacuation/downloads/execsum.pdf>. [Último acceso: 24 Julio 2005].
- [7] R. Touza Gil, *Aplicación de la Normativa de la Organización Marítima Internacional a la Evacuación de Buques de Guerra. Análisis Estadístico del Movimiento del Personal y Simulación*.
- [8] J. A. Bataller Sabaté y S. Azón Lluch, *Análisis del proceso de evacuación y abandono de un buque RO-PAX.*, Barcelona, 2012.
- [9] J. M. Chertkoff y R. Kushigian, Don't Panic: The Psychology of Emergency Egress And Ingress, 1999.
- [10] F. J. Pérez Villalonga, Dynamic escape routes for Naval ships, Monterey, California, 2005.
- [11] O. M. I. Código SSCI. Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios, 2015.
- [12] A. N. E. P. NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION, ANEP-77, *Naval Ship Code*.

- [13] J. M. Riola Rodríguez y F. J. Pérez Villalonga, «Naval Ship Code. Una nueva normativa internacional para buques de guerra.,» *Revista General de Marina*, 2008.
- [14] A. E. D-CP-09: *Manual de Doctrina de Maniobra y Navegación*, 2015.
- [15] T. Korhonen y S. Hostikka, *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac*, VTT, 2009.
- [16] P. D. Enrico Ronchi, *Evacuation modelling and Virtual Reality for fire safety engineering.*, Lund, 2015.
- [17] E. R. Galea, S. Gwynne y P. Lawrence, *Maritime Exodus V4.0 User Guide and Technical Manual*, CMS Press, 2003.
- [18] N. Waterson y E. Pellissier, *The STEPS Pedestrian Microsimulation Tool- A Technical Summary*, London, 2010.
- [19] IES Virtual Enviroment, *Egress: Simulex User Guide*, IES, 2014.
- [20] Thunderhead Engineering, *Pathfinder User Manual*, 2017.
- [21] Armada Española, «Armada Española,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet?nodePath=/BEA%20Repository/Desktops/Portal/ArmadaEspañola/Pages/buques_superficie/06_buques-logisticos/02_buque-aprovisionamiento-combate-cantabria/01_buque-aprovisionamiento-combate-cantabria_es/im. [Último acceso: 7 Marzo 2017].
- [22] M. «MathWorks,» [En línea]. Available: http://es.mathworks.com/help/stats/adtest.html#btq5i_2. [Último acceso: 3 Marzo 2017].
- [23] F. Pérez Arribas, A. Lopez Piñeiro, E. Peter Cosma y R. Donoso Morillo, «Simulación del movimiento de personas. Aplicación a la evacuación de buques.,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 2, nº 4, pp. 78-88, 2005.
- [24] F. J. Pérez Villalonga, *La evcuación del buque de guerra..*

ANEXO I: DISPOSICIÓN GENERAL DE LA ZONA DE HABILITACIÓN DEL BAC CANTABRIA.

A continuación se muestran los planos de la zona de habilitación utilizados para el desarrollo de este TFG.

plano censurado

Figura A1 5.2-1 Cubierta de Aprovisionamiento.

plano censurado

plano censurado

ANEXO II: RESULTADOS SIMULACIONES

A continuación se incluyen los resultados de las simulaciones.

Casos Armada:

datos censurados

datos censurados

Casos OMI:

CASO 1			CASO 2		
CUBIERTA 2	CUBIERTA Ppal	CUBIERTA Aprov	CUBIERTA 2	CUBIERTA Ppal	CUBIERTA Aprov
70,2	89,1	103,5	52	70,6	93,2
67,9	99,6	111,7	52	70,6	93,2
66,6	91,2	102,9	52,4	69,5	90,3
66,3	87,5	100,5	54,4	72,4	93
73,4	88,5	100,2	53,9	74	95,1
65,3	90,6	103,2	54,2	71,5	91,4
64,6	88,3	108,2	57,2	75,6	97,1
64,6	88,3	108,2	51	69,6	88,3
65,5	96,4	107,1	54,7	72,4	94,3
65,8	85	106,2	52,1	70,7	92,1
68,4	87,2	107,5	50,9	69,9	91,3
70,7	89,9	107,5	53,8	71,7	93
68,6	85,6	103,5	52,9	70,8	89,3
66,7	95	105,1	56,5	73,7	97,1
78,3	92	106,1	53,9	72,1	92
69,3	90,1	107,6	53,9	71,7	91,4
72	100,8	112,4	54,2	72,9	92,7
66,9	97,7	111,5	51,9	68,3	84,8
64,8	93,5	106,9	53,3	72	92,1
67,7	93,1	103	51,4	71,1	87,9
76,1	95,3	107,8	53,7	72,2	91,2
73	116,3	134,9	54	72,5	94,8
64,2	91,1	103,6	53,9	73,3	93,5
67,9	94	106,1	49,8	67,8	88,1
66,6	91,4	102,7	53,1	72,6	95,1
64,1	94,2	103,6	52,7	73,4	90,3
66,6	92,4	103,1	53,3	71,8	92
65,6	92,7	104,2	53,7	70,2	92,9
62,7	85,3	100,5	53,4	71,6	89,7
71,9	95,9	109	54,5	72	90,7

Tabla A2 3 Resumen simulaciones caso 1 y caso 2 OMI

CASO 3			CASO 4		
CUBIERTA 2	CUBIERTA Ppal	CUBIERTA Aprov	CUBIERTA 2	CUBIERTA Ppal	CUBIERTA Aprov
453,2	464,9	496,7	84	104,1	122,8
354,5	372	401,5	85,6	105,8	123,4
426,6	437,5	466,8	84,8	105,3	122
363,5	375,1	404,7	82,8	102,1	119,7
524,6	535,8	565,7	82,8	102,1	119,7
571,7	582,2	610,2	86,4	105,5	123
547,1	558,6	589,5	87,3	105,4	122,1
443,9	455,4	486,5	85,2	105	123,4
479,7	491,8	525,1	83,8	101,7	118,4
508,9	520,7	552,5	84,3	102,7	119,8
339,8	354,7	384	85,9	106,2	122,8
520,7	530,7	555,6	82,1	102,1	119,9
284,1	294,1	320,3	84,7	103,1	120,4
347,5	358,3	387,7	83,7	101,5	117,8
469,1	480,1	510,1	83,8	102,4	119,3
449,1	460,3	491,2	85,2	107,1	125,4
428,3	438	464,1	83,8	104,3	121,4
448,3	461,3	492	87,2	107,9	125,3
599	611,3	644,6	83,9	105,1	122,5
455,8	466,4	495,1	85,6	106,6	125,2
442,4	455,3	487,5	85,2	106,8	123,5
518	529,7	561,9	86,2	105,4	121,6
343,1	354,6	385,2	83,7	103,5	120,8
517,3	528,4	557,2	86,6	107	124,8
479,6	492,3	526,7	87	106,8	124,1
471,3	483,2	514,9	86	107,2	125,4
523,5	535,4	567,8	87,8	109,3	126,6
522,5	534,5	567,7	83,6	103,6	120,7
468	481,1	512,4	84,1	101,5	119,7
306,3	319	349,3	84,7	102,9	119,6

Tabla A2 4 Resumen simulaciones caso 3 y caso 4 OMI

ANEXO III: CÁLCULOS REALIZADOS

	Tiempo de la evacuación mayor que el 95% de los valores.	Margen de seguridad	Tiempo de reacción (A)	Tiempo E+L	Tiempo de evacuación (s)	Tiempo de evacuación (min)
Caso 1 Armada	135,5	600	300	300	1335,5	22,26
Caso 2 Armada	66,7	600	150	300	1116,7	18,61
Caso 3 Armada	728,8	200	300	300	1528,8	25,48
Caso 4 Armada	96,6	200	150	300	746,6	12,44
Caso 1 OMI	134,9	600	300	300	1334,9	22,25
Caso 2 OMI	97,1	600	150	300	1147,1	19,12
Caso 3 OMI	644,6	200	300	300	1444,6	24,08
Caso 4 OMI	126,6	200	150	300	776,6	12,94

Tabla A3 1 Cálculos Realizados

ANEXO IV: DIAGRAMAS DE CAJA Y BIGOTES O BOX AND WHISKER PLOTS

A continuación se incluyen los boxplots que compran los tiempos por cubierta (siendo 1 la cubierta 2, 2 la cubierta principal y 3 la cubierta de aprovisionamiento). para cada uno de los casos.

Casos Armada:

datos censurados

datos censurados

datos censurados

Casos OMI:

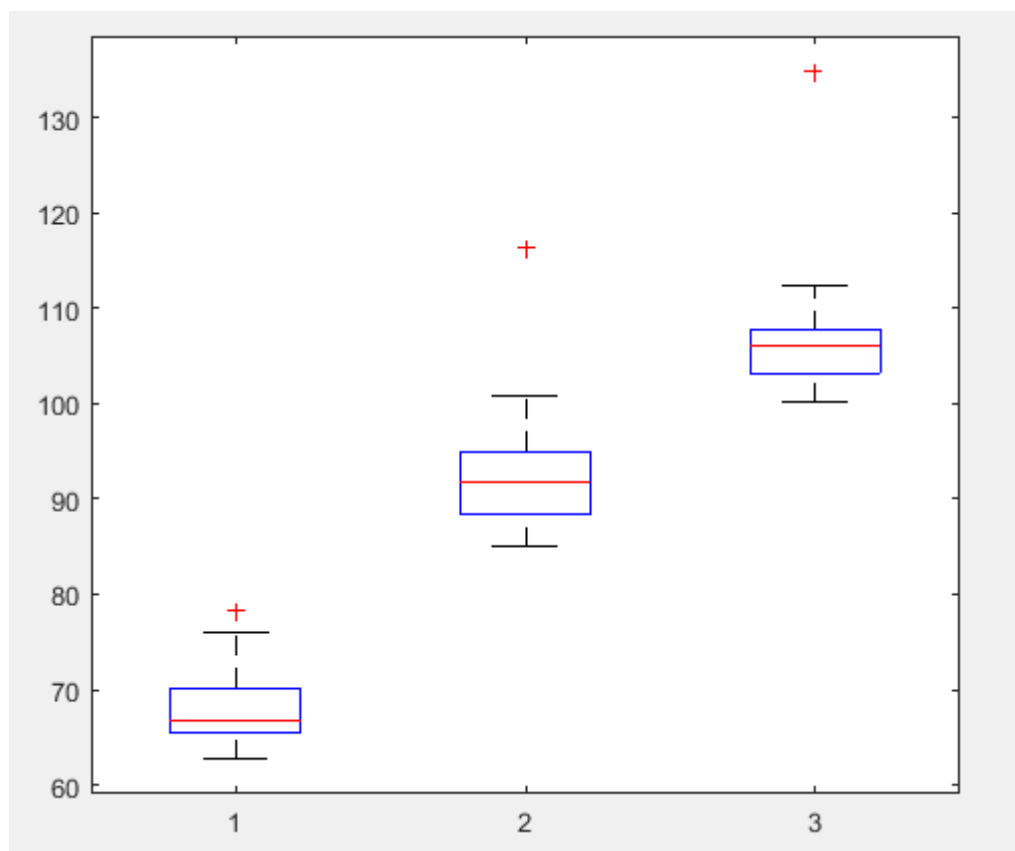


Figura A4 5 Boxplot Caso 1 OMI

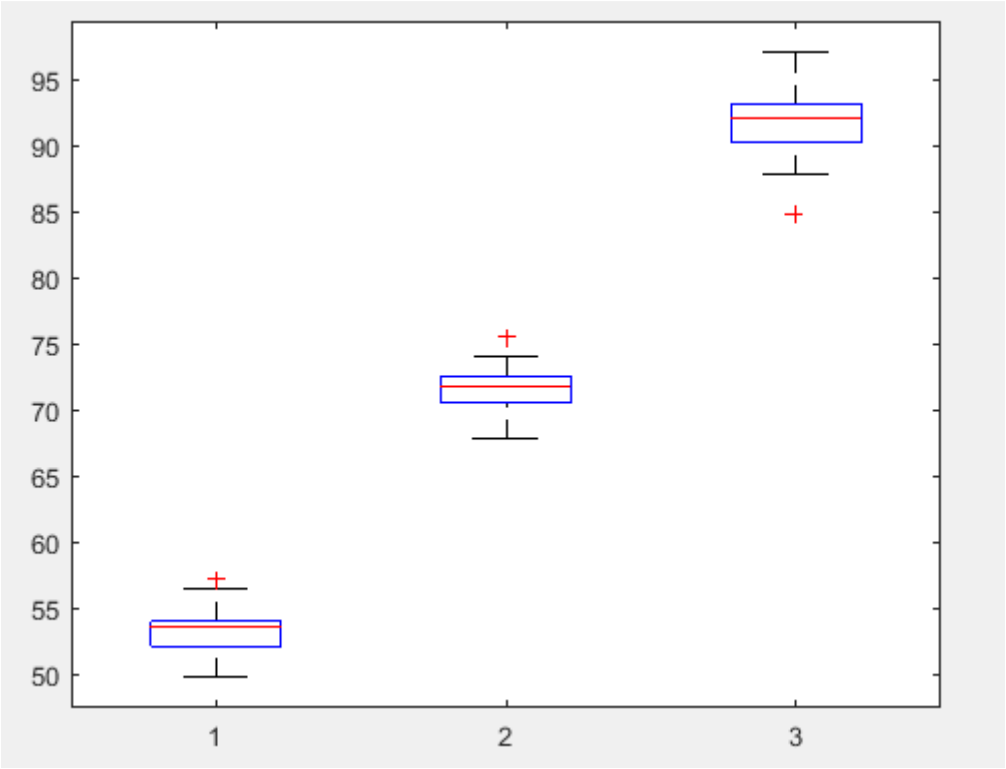


Figura A4 6 Boxplot Caso 2 OMI

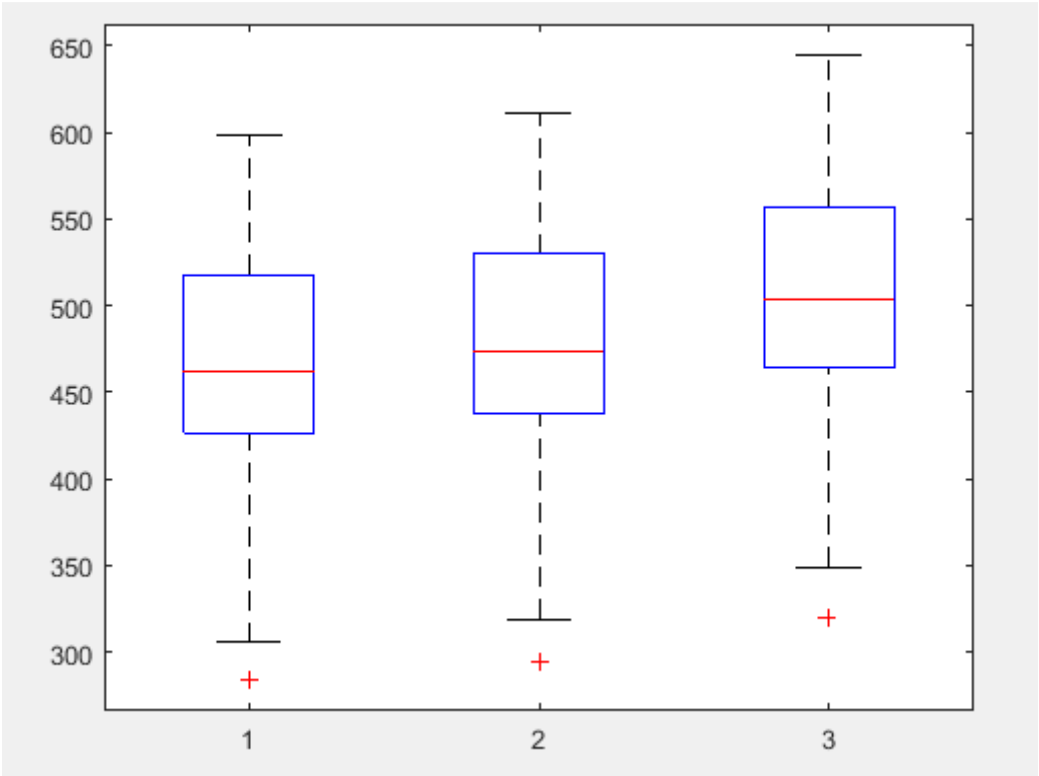


Figura A4 7 Boxplot Caso 3 OMI

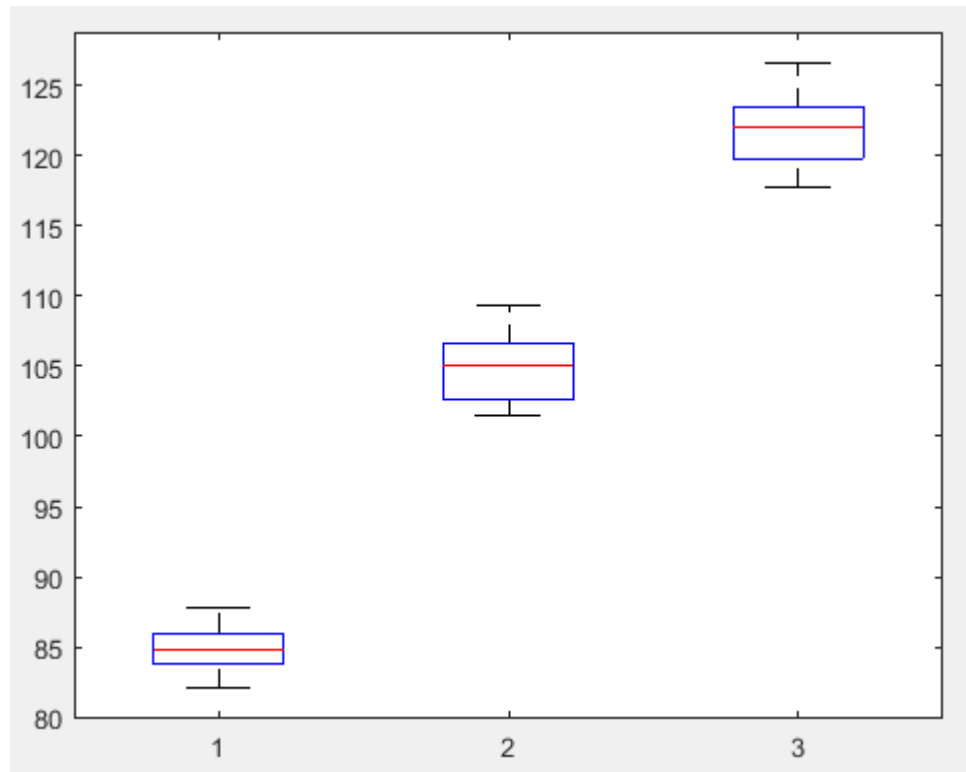


Figura A4 8 Boxplot Caso 4 OMI